



TITLE:

# 誘電体の高周波高電圧現象に関する研究( Dissertation\_全文 )

AUTHOR(S):

正木, 知己

---

CITATION:

正木, 知己. 誘電体の高周波高電圧現象に関する研究. 京都大学, 1948, 工学博士

ISSUE DATE:

1948-04-08

URL:

<https://doi.org/10.14989/161908>

RIGHT:

誘導体の高周波高電圧現象に関する研究 正木知己

誘電体の  
高周波高電圧現象に  
関する研究

電気試験所技師  
正木知己

DOC

1947

1

電気系

誘電体の  
高周波高電圧現象に  
關する研究

電氣試験所技師  
正木知己

DOC
1947
1
電氣系

## 記号, 略号表

一般記号, 略号

A.	電極, 吊糸の弾性係数, 自己誘導係数
a	球の半径, 分子の半径 [全表面積]
a'	放射率
B	= $kE^2$
C	蓄電器容量, 熱容量
C <sub>t</sub>	測定用蓄電器容量
c	比熱
D	間隔, 直径
d	間隔, 球の中心間の距離, 厚さ, 直径
E	電界強度, 電圧
e	荷電粒子の電荷
f	周波数, 弾性的球心力
G, g	コンダクタンス
H, h	放熱係数
h'	輻射係数
I	充電電流, 導体棒の慣性モーメント
K	Boltzmannの定数, 成極率, 熱伝導度
k, K'	導体棒の定数
L	単位体積中の荷電粒子数
L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub>	自己誘導係数
l	長さ
n	振動数, 単位体積中の荷電粒子数
n <sub>0</sub>	電界なきときの導体棒の振動数
Q	= $\omega L/R = 1/\omega CR$ , 熱量
P	電力
R	抵抗, 負荷抵抗
R <sub>r</sub>	空中線の輻射抵抗
r	半径, 抵抗



$S$	表面積
$T$	絶対温度
$t$	時間
$T_m$	熱破壊の温度
$T_K$	熱劣化の温度
$V$	電圧 体積
$W$	入力 損失
$z_0$	波動抵抗
$z_r$	レックレル線のインピーダンス

$\alpha$	温度係数
$\gamma$	傳播常数
$\epsilon, \epsilon'$	誘電率
$\epsilon''$	$= \epsilon' \tan \delta$
$\tan \delta$	誘電体力率
$\eta$	粘性係数
$\theta$	振幅角, 温度, 表面温度
$\theta_0$	周囲温度
$\theta_1$	最終温度
$\theta_{max}$	熱劣化の温度
$\lambda$	波長
$\mu$	分子量
$\pi$	円周率
$\rho$	粘性係数, 比重, 体積固有抵抗
$\sigma$	比導電率
$\tau$	時定数
$\omega$	$= 2\pi f$ 角周波数

単位略号

$\lambda$	サイクル
M.C.	メガ・サイクル
A	アンペア
mA	ミリアンペア
$\mu A$	マイクロアンペア
V	ヴォルト
kV	キロ・ヴォルト
W	ワット
kW	キロワット
$\Omega$	オーム
$\mathcal{U}$	モー
$\mu\mu F$	マイクロマイクロファラッド
p.F.	ピコ・ファラッド
$\mu F$	マイクロファラッド
H	ヘンリー
m, M	メートル
cm	センチメートル
mm	ミリメートル
s, sec	秒

其 他

loge	自然対数
$d/dt, d^2/dt^2, \partial/\partial r^2$	微分
sinh	ハイパボリック・サイン
tanh	ハイパボリック・タンジェント
j	虚数単位
~	乃至
実協	財団法人電気実用化協会

## 誘電体の高周波高電圧現象に関する研究

## 目次

第一章	緒論	1
第二章	測定法	5
第三章	序論	5
第四章	高周波高電圧の試験装置	8
第五章	高周波高電圧の測定	8
第六章	序言	9
第七章	電試式電圧計	11
第八章	電圧計の校正	11
第九章	高周波高電圧下の諸特性の測定	13
第十章	序言	17
第十一章	高周波破壊値の測定	19
第十二章	熱劣化現象その他の測定	19
第十三章	液体に於ける現象	25
第十四章	緒言	37
第十五章	破壊現象	37
第十六章	序言	39
第十七章	実験結果	39
第十八章	測定結果に対する吟味	41
第十九章	温度上昇と熱劣化	43
第二十章	序言	46
第二十一章	実験結果	46
第二十二章	測定結果に対する吟味	47
第二十三章	固体に於ける現象	49
第二十四章	序論	58
第二十五章	破壊現象	58
第二十六章	序言	61
第二十七章	高電圧下の誘電特性並びに熱劣化	61
第二十八章	コロナ破壊と熱破壊	63
第二十九章		71

第三節	理論的考察	76
第一節	序言	76
第二節	高周波破壊に対する筆者の見解	81
第三節	高周波内部發熱と破壊	87
第三章	特殊應用	104
第一節	緒論	104
第二節	放電熱劣化の対策	106
第三節	序論	106
第四節	饋電線の対策	108
第五節	序言	108
第六節	現用饋電線の破壊	108
第七節	充実型饋電線の破壊	112
第八節	結言	113
第九章	放電防止塗料	116
第一節	張力高周波の特殊發熱の應用	118
第二節	序論	118
第三節	加熱作用の吟味	120
第四節	序言	120
第五節	特異加熱作用の考察	121
第六節	加熱作用の基礎實驗	134
第七節	實驗結果	136
第八節	電界分布の制御と温度分布	138
第九節	加熱作用の利用	144
第十節	序言	144
第十一節	加熱用強力發振器の設計	148
第十二節	木製飛行機具の他に於ける應用	155
第十三節	高周波に依る成型フロペラの工業的製造	157
第十四節	序論	159
第十五節	實驗結果	160
第十六節	序言	160
第十七節	予備實驗	164
第十八節	工業的實驗	177

第三節	實驗結果に対する考察	185
所見		185
技術的檢討		187
第四編	結論	192
謝辭		195
文獻		197
實驗表		199
實驗圖面(別冊)		



## 第一編 要 旨

筆者は昭和十二年以來末職を電気試験所に奉じ、高周波誘電特性に関する研究に従事して来たが、研究の対象は高周波、超高周波の低電圧下に於ける誘電特性(出来得る限り短い波長での特性の追求)並びに高周波、超高周波の高電圧下に於ける誘電特性(出来得る限り高い電圧での特性の追求)にあった。

高周波高電圧現象に関する筆者の研究は、最近漸く軌道に乗りかけた程度であり、今後実験的にも理論的にも解決すべき問題が山積してゐる次第であるが、強力発振器に依る研究は従来極めて少く、強力高周波を通信以外に利用せんとする試みは皆無と云つてよい現状に鑑みる所あり、筆者が今迄に發表し来たれる断片的の諸論文を其の後の研究実験結果と共に一應取り纏めて見た。

筆者もとより淺學菲才その研究は實に微々たるもので

あるが、然し今迄に得られたる実験値を不満足ながら整理した所以のものは、強力高周波発振器の製作運営に幾分たりとも役立たしめたいとの念願からに外ならない。

本論文は二つの部分よりなり、其の要点は次の如くである。即ち第一編は誘電体の高周波高電圧現象自体に就き実験を進め現象の観測ならいに理論的解析を進めて居り、其の第一章に於て研究の必要なる所以、研究の範圍、目標、従事の研究等に就て概説し、第二章に於て電気試験所及五部超短波研究室に於て設備せる強力発振器に就いて述べ、測定法に關する改良ならいに新提案を論じ、第三章に於て液体の絶縁破壊と誘電体損に基づく温度上昇に關して述べ、第四章に於て固体の高周波破壊の機構に關して論じ熱劣化現象なる新現象を提案した。即ち第二編は誘電体の高周

波高電圧現象に関する基礎的研究を取り纏めたものであり、従来知られて居る低周波の場合と異なる点を指摘して居り、強力發振器の設計、電波の特殊應用等に関する基礎資料を提供するものである。

才三編は才二編に於て得られたる智識を實際の問題に適用せるものにして、其の才一章に於て、強力電波の取扱いに於ては種々対策を必要とする現況を述べ、更に強力電波は通信以外の特殊應用の分野を開拓すべき機運にある事を述べ、第二章に於ては放電熱劣化対策の實際に就て論じ、饋電線其の他耐圧向上に就て詳論して居る。才三章は強力高周波の応用に就いて論じたものであり、内部發熱、撰擇發熱、最大發熱に関して新機軸を開き其の實際の応用に就いて述べて居る。才四章は木製プロペラの急速製造に関する中間工業的實驗に就て詳論して居る。

要するに才三編は高周波高電圧現象の対策並に筆者に

依って開拓せられつつある高周波の工業的利用に關  
して述べたものである。

## 第二編 誘電体の高周波高電圧現象論

### 第一章 緒 論

最近に於ける高周波及び超高周波工学の理論、応用方面の發達は実に目覚ましい物がある。時局の進展に伴って之等の通信、生産、拡充方面に於ける役割は益々<sup>重</sup>大化して來て居る。而して其の取扱ふ電力の増大と共に、其の使用電圧も順次上昇して來て、之等周波數に於ける高電圧現象は実用上頗る重要な問題となつて來た。

時局の進展は応用電波機器の出現となり、超高周波に於ける高電圧の現象の研究は焦眉の急務となつて居る。高電圧現象も周波數の増大と共に、特殊な形態を取るに至り、理論的にも將又実用方面に於ても頗る重要な問題を提供してゐるが、一日も早く理論の解決を計り、之が対策を確立せねばならない。又高周波を單に通信方面に止らず、他の方面に應用せんとする場合にも、高周波高電圧は常に重要な問題



となって来る。之等技術の根底を成すものは実に材料であり、其の研究こそは頗る重要である。この爲には光ッ材料の高周波高電圧下の誘電特性を究める事が先決問題である。

筆者は、 $2.5\text{ M.C.} \sim 100\text{ M.C.}$ で氣中放電を容易に起し得る程度の高電圧を得て、研究を進めて居る次第であるが、高周波超高周波の限界も明確なる定義のない現在、特に波長の短い所では、高電圧が得難い現況に鑑み、本報告では高周波なる言葉の内に便宜、筆者の實驗を行へる全周波数帯域( $100\text{ M.C.} \sim 2.5\text{ M.C.}$ )を含ませる事としたい。

本編は誘電体の高周波高電圧現象の基礎理論の確立を旨として行つた實驗結果を取り纏めて、之に理論的の考察を加へたものである。此の方面の従来の研究の跡を振り返つて見ると、故鯨井博士<sup>(1)</sup>が電動式高周波發電機で色々な材料に就き實驗され、先づ此の方面の研究に先鞭を附けられたのは<sup>實に</sup>大正12年の事である。

(1) 鯨井

我々が電氣試験所に於ては、先輩小川技師<sup>(3)</sup>は昭和九〜  
 十年頃、四部の送信管試験装置、依佐美の送信機  
 を用いて種々の材料に就き研究された。最近に於ては  
 理研の岡崎氏<sup>(8)</sup>が主として固体の温度上昇に就いて大に  
 研究を進めらうしてゐる。外國に於ては液体に關しては  
 Schlegelmilch<sup>(14)</sup>の文献あるのみで、固体に關しては  
 Inge, Walter<sup>(21)</sup>, Böcker<sup>(25)</sup>の論文が其の主なるものである。  
 最近 Alford<sup>(28)</sup>, Rohde; Wedemeyer<sup>(27)</sup>が研究を大に  
 進めて居るらしいが、其の後の進展の様子は詳でない。  
 吾々は外國の技術に依存する事なく一歩一歩之が解決を  
 計り、更に彼等を凌駕すべく努力せねばならぬ。  
 誘電体の高周波高電圧現象に關しては、餘りにも未解決の  
 問題が山積して居る現状であり、一日も早く解決を計  
 らねばならぬ次第である。

(3) 小川 (8) 岡崎 (14) Schlegelmilch (21) Inge, Walter (25) Böcker  
 (28) Alford (27) Rohde; Wedemeyer

## 第二章 測定法

### 第一節 序 論

誘電体の高周波高電圧現象を研究するには、先づ試験装置を完備し、測定法の確立を計らねばならない。高周波高電圧下に於ては、従来の觀念と従来の測定装置を以てしては遺憾の多い。抑々高周波に關する測定は、周波数の上昇と共に加速度的に困難さが増して来るものであり、一般に測定器に依る影響が大きくなり、眞の測定が不可能になって来るのは誠に残念である。

高周波高電圧を印加しながら、其の動的特性を測定する事も又非常に困難な問題である。之は測定器が高周波高電圧の爲に、色々な障害を蒙る恐れが多分にある爲である。

筆者は本研究を進むに當り、測定法の改善並に新方法の案出に鋭意努力して来た次第であり、二三解決したものもあるが、まだ充分に意に添ふ様なものが得られない現状である。

## 第=節 高周波高電圧の試験装置

筆者の装置は電力、電圧の点に於て本邦はもとより諸外國のものに比し、豪も遜色なきものと思はれる。其の要點のみを簡略に示せば次の如き物である。

10 m 以上の強力高周波を發振するに SN/6/ を用いた。

10/ の装置は陽極電源として三相全波整流、10/2 の方は單相全波整流、發振部分は何れも SN/6/ (出力 3KW) を2個 フォッシュポルに用い、ハートレー回路を採用してゐる。

10 m 以下の強力高周波を得る爲には U330T (出力 3KW)

5V 853A (出力 750W) を用いて、共に發振回路、同調回路には 1/2 倍線式を採用して居る。前者は單一管で主として

6m で実験を行った。後者は之を フォッシュポルに用い 7.5m で試験を行い、其の後波長の短縮を計り、陰極同調型を用い 3m で実験を進めた。

試験部分は發振回路に疎に結合せる二次回路よりなり、之に

適宜、試験電極電圧計を取付けてある。此等装置の結線を、  
カノ図よりカ6図に示した。



### 第三節 高周波高電圧の測定

#### § / 序 言

高周波高電圧現象の研究に於ては高周波高電圧の測定が其の研究の死命を制する物である事は云ふ迄もない。

然し高周波高電圧の測定には未だ他の高周波の測定程充分信頼出来る正確な物はなく測定法には種々提案があるが夫々色々困難な点がある。又所謂高圧用と稱せられると思はれる物も極めて強力な電界内に置かれると測定器自身が破壊されて使用に耐へない物が多い。

筆者は種々実験の結果、以下に述べるが如き充電型電圧計を考案し、実験に供し頗る好成績を収めて居る。又振動型の物に就いては実用に便なる物を実務<sup>\*</sup>に於て試作させ、又筆者の發見に於ける無極放電に於ける整流を利用する簡便なる電圧計も試作させて居り共に大いに斯界に寄與せんとして居る。

高周波高電圧用として従来考へられたる物の内、重なる物を拾つて

見るに、レツヘル線法はレツヘル線のインピーダンスを推定し電流値より電圧を出すものであり超短波でレツヘル線の同調に依り高電圧を得る事は屢々行はれて居る現状よりすれば重要な物であるが、インピーダンス其の物が計算値と食ひ違つて来て相當の誤差はまぬがれ難い。

三極真空管やケルトロンに依り高周波電流を整流して試験蓄電器を充電せしめ其の放電々流を直流計器にて測定する方法もあり低電圧の場合には此の真空管電圧計がよく使用されて居るが之を高周波高電圧に使用せんとする場合には種々困難を生ずる。低電圧用の真空管電圧計を高電圧用に使用せんとするに際しては分圧器を用ひるが波長の減少と共に分圧器なる物が曖昧と成り眞の電圧を測り得ない事は頗る残念な事である。又極めて強い電界に於ては真空管織り條自身の電界のためには莫大すると云ふ缺點がある。(寧ろ此の現象を利用して逆に測定を進めて行けば面白いと筆者は考へて居る)。

靜電々圧計は従来外國の研究に於ては屢々用ひられて居る。

が指示に依って静電容量が変化する爲入力インピーダンスが変る事となり波長が短かくなると使用が困難である。

球間隙を用いる方法もあるが絶対値が詳らかならず、單なる目安に止まり又時間的に連続して電圧の変化を見る様な場合には不便である。

蓄電器の電界内に金属片を糸で釣るして置き、その振動周期より電圧を測定する方法があるが、之は標準法としてよいか連續して電圧の変化を見る上には不便な点があり、従来の物では風の影響を受ける事が多い。釣り紐に就いても吟味を要する。

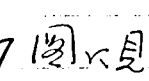
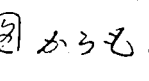
## §2 電試式電圧計

連続的に電圧測定が可能であり操作簡單且正確な物が望ましいわけであるが吾々の実験には次の如き電圧測定装置を考案した。原理としては別に珍しい物ではなく直接に試験回路に並列に電圧測定用蓄電器  $C_x$  を挿入し、此れに

直列に熱電対型電流計を挿入し試験電極間の電流  
 $I$ を測定し

$$V = \frac{I}{2\pi f C_x} \text{ ----- (1)}$$

なる関係から電圧を測定する方法である。

熱電流計が高周波の強電界中に置かれると誤差を誘発するのみならず、誘電体損の爲に燃焼して破壊されてしまう。此の危険を避ける爲に、図に見る如く熱電流計全体を完全に遮蔽してある。図からも解る如く試験電極は保護環式になって居り、計器を流れる電流を極限して居るのみならず、同時に測定時に於ける電界の分布の均一性を保つて役立つ。又対向電極は任意に可動出来、間隙が変り電圧測定範囲が自由に変化する。此の電圧計は熱電流計型であるため計器の指示が時間的に遅れを持って居るが、缺點であらう。特徴としては指示を直讀出来、指示に依って静電容量が変化する事なき爲同調が取り易く、又入力コンダクタンス小なる爲回路の $Q$ を低下

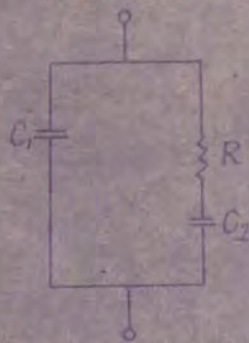
# 實 驗 記 錄

昭和      年      月      日      氣 象      溫 度      °      濕 度      %

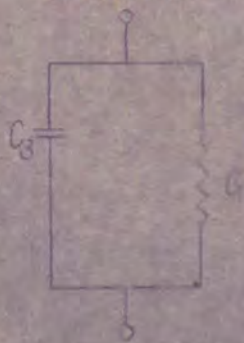
實 驗 題 目

擔 當 者

説明図1



説明図2





する事が多い。此の電圧計の等価回路は説明図ノに示す通り  
で等価の $G$ の一例を示せば次の如し。 $R$ は熱線の抵抗で約 $5\Omega$ ,  $C_1, C_2$ は $50m$ 用のものに於ては

$$C_1 = 1.122 P.F.$$

$$C_2 = 0.125 P.F.$$

て之を説明図<sup>2</sup>の如き等価回路に直せば  $R \ll \frac{1}{\omega C_2}$  であるから

$$G \doteq \omega^2 C^2 R$$

$$\doteq 2 \times 10^{-10} \text{ } \Omega^{-1} \text{ となり極めて小である。}$$

高周波用の装置の必要は第7図に示す如き物である。

$150mA$ の高周波電流計を内蔵し前面は金網で張られて居る。対向電極は保護環の内部の電位より大きい事が望ましい。 $50m$ 程度では電圧計挿入に依る誤差は殆んど無視して差支へない。

超高周波用としては上記の物を小型にする様考慮した。構造並びに取付工合を第8図に示す。レッセル線の先に熱電対を渡

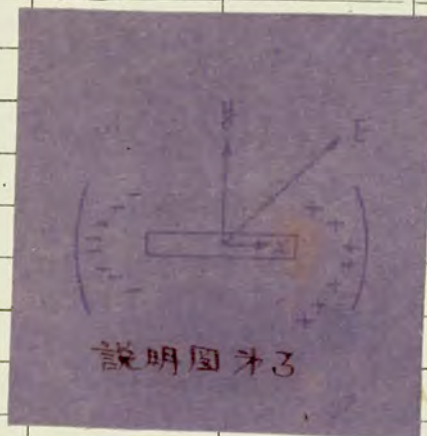
蔽したる物を取付け、電極 A に流入する充電電流を熱線に流  
 し此れに依って発生した熱起電力をレベル線の円管の中を通  
 る導線に依り短絡片の向ふ側に導き、これを遮蔽せる直流電圧  
 計にかけた。之は高周波電流計の熱電対と指示計器<sup>と</sup>を分離し  
 たものである。斯くする事に依り高周波部分は著しく小型になり、50  
 MC に於ては勿論 100 MC に於ても充分使用する事が出来る。  
 此の電圧計の超高周波用としての缺点是此の電圧計を挿入す  
 事に依って回路の静電容量が増加する（間隙  $d = 30^{mm}$  で約  
 1.147 PF）点であるが 100 MC 程度迄は此のためには  
 何等困難を感じなかつた。

# 實 驗 記 錄

昭和      年      月      日      氣 象      溫 度      °      濕 度      %

實 驗 題 目

擔 當 者



### § 3 電圧計の校正

振動子に依る校正を用いた。之は電界中に導体棒を糸で水平に吊すと電界強度に依って其の振動数が変化し、其の変化は電界強度の実効値にのみ関係し、周波数には無関係なる事を利用せる物である。説明図<sup>3</sup>の如く細長い左右対称の導体棒を電界中に置く時は之に誘起された電荷には、電界  $E$  から力が働く故、此の導体棒の長さの方向を電界に一致させようとする偶力が働く。今此の導体棒を糸で水平に吊した場合の運動の方程式を立てれば

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} + A \theta + B \sin \theta \cos \theta = 0 \text{-----}(2)$$

茲に  $I$ : 導体棒の慣性モーメント  $A$ : 吊糸の弾性係数

$$B = k E^2 \quad E: \text{電界強度}$$

$k$ : 導体棒の幾何学的形状及び質量にのみ関係し周波数とは無関係な常数。

振幅  $\theta$  が小なる時は此の式は

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} + (A + B) \theta = 0 \text{-----}(3)$$

此の振動の式より振動数  $n$  を求むれば

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{A+B}{I}} \quad \text{----- (4)}$$

電界が加つて居ない時は  $B=0$  であるから此の時の振動数を  $n_0$  とせば

$$n_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{I}} \quad \text{----- (5)}$$

$$\therefore \sqrt{n^2 - n_0^2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{B}{I}} = K' E \quad \text{----- (6)}$$

$K'$  は勿論導体棒が幾何學的に簡單なる形(例へば回轉楕圓体)である時は算出する事も出来、従つて絶対測定も出来るが、商用周波と比較測定の方が便利で此の場合は導体棒は左右対稱でさえあれば良い。筆者の使用したものは直径  $1.66 \text{ mm}$  長さ  $11.30 \text{ mm}$  の銅棒で此れを長さ  $15 \text{ cm}$  のス、フの細い糸で吊した。ス、フの糸を用いたのは  $n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{A+B}{I}}$  なる式から分る様に  $A$  が小なる程、感度が大きいからである

$30 \text{ m}$ ,  $6 \text{ m}$ ,  $3 \text{ m}$  に於ける較正方法の詳細な説明は割愛し其の結果のみを第 9 圖及至第 14 圖に示す。

## 第四節 高周波高電圧下の諸特性の測定

### § 1 序 言

高周波高電圧下に於ては種々特異なる現象が現れる。勿論之は電界に依つて引き起される物であるから電氣的特性の測定の必要なるは言を待すない所であるが二次的に起る發熱の影響も亦頗る大であり破壊現象に於ても熱的測定を無視しては殆んど意味がないと云ふ程度になり熱的現象の觀測・測定も必要となつて来る。又此の溫度上昇と電氣的特性の相關の係が頗る重要であり、是非之を究明する必要が起つて来る。

### § 2 高周波破壊値の測定

#### 1 序 言

低周波の破壊に於てよく知られて居るが如く破壊は極めて多くの因子に依り支配され眞の破壊値の測定と云ふ事は頗る困難な問題である。電圧上昇速度、電極の形狀、電源の周波數、波形試料の形狀、溫度、圧力、不純物、周圍の媒質等の

作用に依り影響される事は頗る大である。又後に求べる如く高周波に於ては独特の現象を生ずる爲、測定條件の問題は更に困難さを増して来る。遺憾ながら現在迄の所では何等標準試験法とも稱すべきものがなく大抵低周波での真似をして居るが一日も早く解決せねばならぬ問題である。

## ② 波長の測定

周波数に依り破壊現象が異なる故波長は正確に測定して置く必要がある。波長計には簡単な吸収型の物を使用した。引込み現象を避ける爲装置より相當離して使用する必要がある。

超短波波長計

塚本電機製

短波波長計

日本電波製

装置より約2m 離れて使用し、漂游静電容量に依る誤差を少なくするため細長いベークライト棒で操作した

## ③ 試験電極に加はる真の電圧の検討

吾々の実験に於ては試験電極に並列に電圧計を接続

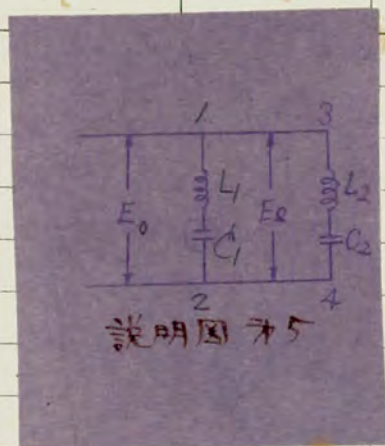
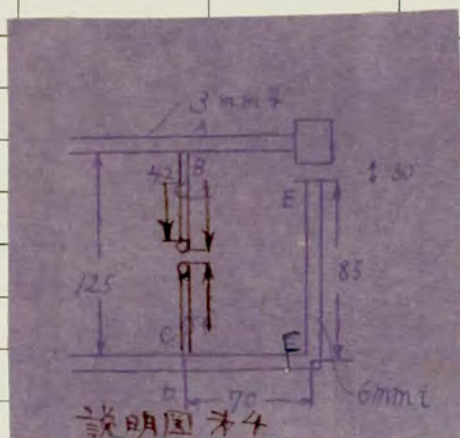


# 實 驗 記 錄

昭和      年      月      日      氣 象      溫 度      °C      濕 度      %

實 驗 題 目

擔 當 者





して居るか 電圧計の指示の電圧が眞に試験電極に掛つて居るか否かの点を吟味する必要がある。又一定電圧にして置いて球間隙を近づけて行く場合同調が外れるか否かも検討して見る必要がある。(之は電圧計が熱線型である爲に指示に遅れがあるためである) 波長の長い所では大して問題にならぬと思はれる故先づ次の如き場合を考へて見る。(電圧計の間隙及び試験される球電極の大きさ 間隙で多少異なるがその程度には変<sup>は</sup>無<sup>い</sup>)

→ 説明図4の如く球直径 $20\text{ mm}$  間隙 $1\text{ mm}$  電圧計の間隙 $30\text{ mm}$  とする AB)間 CD)間 EF)間の自己誘導が相当問題になる。ABCD)間の自己誘導は一緒にして之を説明図5の如くする事が出来る。

→  $L, l$  を一條線の自己誘導と見做し次の公式を用いる

$$L = 2l \left\{ \log_e \frac{2l}{r} - A \right\} 10^{-9} \text{ H} \text{ ----- (7)}$$

茲に  $l$  は一條線の長さ、 $r$  はその半径で超高周波に於ては、

$A \doteq 1$  として良い 此より

$$L_1 = 62.5 \times 10^{-9} \text{ H}$$

$$L_2 = 51.5 \times 10^{-9} \text{ H}$$

$C_1$  は球間隙の静電容量で  $C_1 = \frac{C_{11} - C_{12}}{2} \times 1.11 \text{ PF}$  に依って算へられる。但し  $C_{11}, C_{12}$  は電氣像の無限系列から計算され球の半径  $a$  球の中心間の距離  $d$  を與へれば求められる。計算の

結果  $C_1 = 1.37 \text{ PF}$  (図15図16図参照)

$C_2$  は平行板の静電容量で直ちに計算出来て

$$C_2 = 1.15 \text{ PF}$$

次に 1-2 間の電圧を  $E_0$ 、3-4 間の電圧を  $E_e$  とすれば、

1-3 及び 4-2 はリップル線であるから次の關係が成立す

$$E_e = E_0 \frac{\sinh \theta}{\sinh (\theta e + \theta)} \text{ ----- (8)}$$

茲に  $\tanh \theta = \frac{Z_r}{Z_0}$

$$Z_r = j(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}) = j2763 \Omega$$

$Z_0$  はリップル線の波動抵抗でリップル線の直径

$$d = 1.3 \text{ mm 間隔} \quad D = 1.25 \text{ mm}$$

であるから  $Z_0 = 277 \log_{10} \left( \frac{2D}{d} \right) = 355 \Omega$

又  $l = 70 \text{ cm}$   $\gamma = \frac{2\pi}{\lambda}$   $\lambda = 600 \text{ cm}$

此等を代入して計算すれば

$$\frac{E_e}{E_0} = \frac{-j0.99}{0.0013 - j0.99} \div 1 \quad \left\{ \text{誤差 } \frac{2}{1000} \text{ 以下} \right\}$$

次に電圧計に加はる電圧を  $V_e$  球間隙に加はる電圧を  $V_0$  とすれば

$$V_0 = \frac{E_0}{j\omega L_1 - j\omega C_1} \quad \frac{1}{j\omega C_1} \quad (9)$$

$$V_e = \frac{E_e}{j\omega L_2 - j\omega C_2} \quad \frac{1}{j\omega C_2} \quad (10)$$

$$\frac{V_0}{V_e} = \frac{E_0}{E_e} \quad \frac{1 - \omega^2 L_2 C_2}{1 - \omega^2 L_1 C_1} \quad (11)$$

$\omega^2$  は  $10^{17}$  の程度で  $L_2 C_2$  及び  $L_1 C_1$  は  $10^{-20}$  の程度であるから実用上  $\frac{V_0}{V_e} \div 1$

即ち誤差は考慮しなくて良い。100 MC の場合も大体同様

様の計算に依り誤差は無視出来る。

#### 4 実験方法

發振管の陽極電圧の低い所で大体同調を取って置き、後陽

極電圧を連続的に上昇して破壊電圧を読む。或は又陽極電圧を適当な値まで上げて初めは同調をずらして置いて可変蓄電器を操作して同調を取り破壊電圧を読む。或は又液体の場合に於ては發振電圧を一定に保って置いて電極間隙を変化させる事もある。

電極としては球平板又は之の組合せを主として用いた。高周波に於ては空氣が先づ破壊する場合が多く、電極面の表面仕上が此の電圧に重大な影響を及ぼす物であるから周到の注意を要する。液体絶縁物並べに液体中に於ける固体絶縁物の破壊現象の觀測の爲特殊の容器を考案した。

直流或は商用周波に於ても放電電圧の予警が現はれるが高周波に於ても此が相當著しい。實際に測定する時は、出来得る限り條件を同一にして同一條件のもとに數回及至十數回の測定を行い、之等を全部記録し之等全体をくらみあはせ滑かな曲線で結んだ。

実験操作は成るべく離れて行ふ可きであり人体の漂游容量の影響を無視出来ない。特に波長が短くなれば充分な注意を要する。

## § 3 熱劣化現象其の他の測定

### ／ 序 言

高周波高電圧を絶縁物に印加すると誘電体損の爲に發熱し遂に使用に耐へにくくなる。之を筆者は熱劣化現象と呼んで居る。

熱劣化する現象は後述する如く固体の内部の方に於て著い爲之を外部から肉眼で觀測するだけでは不充分である。

即ち外部は何の異状も認められぬに不拘内部は完全に炭化を起し黒く成つて居る場合もある。

高周波高電圧下では絶縁物は如何なる電氣的特性を示すか、又之が時間と共に如何に變化して行くか、之の變化が熱劣化と如何なる關係にあるかを筆者は究明した。

高周波での破壊現象は後述する如く溫度上昇と密接なる關係

にあり温度上昇は誘電体損に基くものであり、此の三者は夫々密接不  
分の関係にある。従つて此等を同時に測定する事は最も望ましい事である。  
高周波での破壊現象の正体を確めるためには、温度分布並に誘電  
体損を測定し、電圧を上げて行き遂に破壊する時の損失の増大の  
仕方を調べる事が必要であり又頗る興味深い問題である。

## 2 高電圧下の誘電特性の測定

高電圧下の誘電体損の測定法は大いに研究が進められて  
居るが高電圧下では比較的研究が少い。抵抗置換法の原理  
を利用せんとする Rolde の提案があるが、高周波高電圧下では  
適當なる標準抵抗は頗る得難い缺欠があるので彼は此に  
代るべき物として真空管の内部抵抗を格子偏倚に依り適當に変  
化する事を推奨して居る<sup>(10)</sup>。所謂熱量計法は、<sup>(11)</sup> 使は古い物であ  
るか液体に対しては適當せるも固体に対しては不満足な実が  
多い。即ち定常状態に達するには長時間を要し瞬時的に測  
定せんとする提案もあるが種々困難な実が多い。吾々は所謂

(10) Rolde Wedemeyer.

リアクタンス変化法の原理を高電圧に應用して実験を進めて極めて満足すべき結果を得た。

→ リアクタンス変化法とは周知の如く同調回路の蓄電器に試料を挿入するに依る容量の変化より誘電率を算出し、又同時に同調曲線の俊鋭度即ち $Q$ の値の変化或は又同調の山の低下の程度より誘電体損を測定する方法である。

低電圧に於ては極めて微細な容量の調整に依って極めて高感度の測定結果が得られて居り誘電体損の標準測定法として用ひられて居るものである。

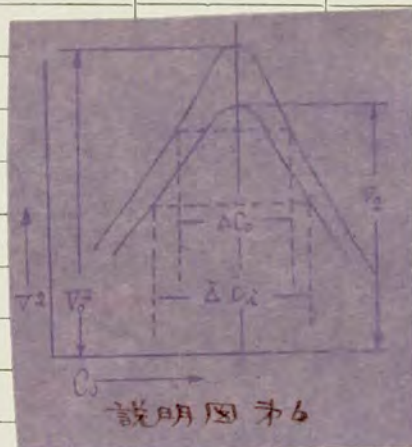
高電圧に於て極めて精密な蓄電器を作るのは相當の困難さがあり、現在の我々の測定器は低電圧のもの程精度を得てゐない。後述する如き熱劣化が起らない場合は、精密級の蓄電器を並列につなぎ正確なる測定を行へばよいが熱劣化の起る場合に操作が簡單で短時間に測定が完了する物であるのが望ましい。吾々の測定の場合は低電圧の場合と全く類似に実験を行った。

# 實 驗 記 錄

昭和      年      月      日      氣 象      溫 度      °C      濕 度      %

實 驗 題 目

擔 當 者





$\tan \delta$  は空気の場合の同調曲線並びに試料を挿入した時の同調曲線を求める  $\beta$  に依り次の二つの方法から之を求めた(説明<sup>6</sup>参照)

$$\tan \delta = \frac{G}{\omega C_x} = \frac{\Delta C_i - \Delta C_o}{2 C_x \sqrt{q-1}} \text{ ----- (12)}$$

$$\tan \delta = \frac{\Delta C_o}{2 C_x \sqrt{q-1}} \left( \frac{V_o}{V_i} - 1 \right) \text{ ----- (13)}$$

但し  $\Delta C_o$   $\Delta C_i$  は夫々試料挿入前及び試料挿入後に於て同調曲線を求め電圧が極大値の<sup>1</sup>/<sub>2</sub>に減少する迄の蓄電器の讀みの差である。普通は  $q = \infty$  として測定する。

液体にあつては誘電体損<sup>の</sup>少い絶縁物に於ては電極を直接挿入して実験を遂めず、特に誘電体損の大きい物に於ては直接電極を液体中に挿入する  $\beta$  が不適當である爲、液体誘電体を試験容器に入れ、此を試験蓄電器中に置き全体の綜合誘電特性を測定し此を解析して試料の  $\epsilon'$   $\epsilon''$   ~~$\epsilon'$~~   $\tan \delta$  を求める。

今容器の損失を無視し得るとせば試験蓄電器(試料部)の部分は電氣的には説明図<sup>7</sup>の様な等価回路と考へ得る。

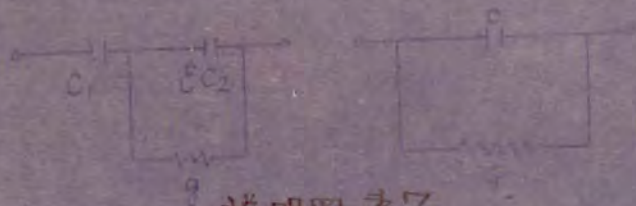
$C_1$  ----- 電極と容器との間の空気の層の静電容量と容器の

# 實 驗 記 錄

昭和 年 月 日 氣 象 溫 度  $^{\circ}\text{C}$  濕 度 %

實 驗 題 目

擔 當 者



壁の自己の静電容量との總和

$\epsilon C_2$  ..... 液体自身の静電容量

$g$  ..... 液体自身のコンダクタンス

$$\left( g = w \epsilon' C_2 \quad \epsilon' = 60 \times 10^9 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \frac{\text{cm}^{-1}}{\text{cm}^{-1}} \right. \quad (14)$$

$\sigma$  ..... 比導電率

実際の測定は右図の等価回路を測るわけであるが左図を右図の如く置き換へれば

$$C = \frac{C_1 \{ \epsilon C_2 (C_1 + \epsilon C_2) + \epsilon'^2 C_2^2 \}}{(C_1 + \epsilon C_2)^2 + \epsilon'^2 C_2^2} \quad (15)$$

$$G = \frac{w \epsilon' C_2 C_1}{(C_1 + \epsilon C_2)^2 + \epsilon'^2 C_2^2} \quad (16)$$

然らば  $C, C_2$  が既知で  $C, G$  が実測されるからは  $\epsilon' \epsilon$  は次式で求められる。

$$\epsilon' = \frac{w^2 C C_1 (C_1 - C) - G^2 C_1}{C_2 \{ w^2 (C_1 - C)^2 + G^2 \}} \quad (17)$$

$$\epsilon' = \frac{G w C_1^2}{C_2 \{ w^2 (C_1 - C)^2 + G^2 \}} \quad (18)$$

$C, C_2$  は容器の空の時、水銀を満した時及び損失の無視出来る  $\epsilon$  既知の試料を入れた場合の容量を測定して此を求める  $\phi$  が出る。

### 3. 熱劣化の電氣的測定

熱劣化現象が起れば、或は其所迄致らずとも或程度温度上昇を来せば電氣的特性が変る。従つて前述の測定を長時間に亘つて行ひ電氣的特性が時間と共に如何に變つて行くかを測定すれば熱劣化が如何なる模様にて起つて行くかが解る。低電圧で高周波誘電体損を測定する事は從來かなり良く行はれて来たる所であるが低電圧で優秀なる材料も此を高電圧に使用する場合にはその温度特性が惡いため思ひ掛りない災害に遭遇する場合が頗る多い。従つて所謂高周波の優秀なる絶縁物も此を高電圧下に使用する場合には實際高電圧下で試験を行ひ熱的安定度及び耐電圧の問題を充分に検討して置く事が是非必要である。高電圧に使用する物は耐熱度の如何が非常に重要な因子となり損失の熱特性の真を良く検討して置く必要がある。

熱劣化が起る様な物にあつては温度は相当上昇する故  
高温下の誘電特性は其れ自身<sup>の</sup>発熱を利用することによ  
り簡単に測れる事となる。

各々が實驗に使用した測定部分は一次線輪に結合した  
二次の同調回路である。測定精度を増す爲には共振回路を  
測定回路とは可及的に疎結合とする事が望ましいが、二  
次線輪の共振電圧が少くとも数千ボルトの高電圧である必  
要から共振巻と測定巻との距離は1m程度とした。

本研究に使用した測定巻の同調用主蓄電巻は直線容量  
型の可変空気蓄電巻であつて静電容量の可変範囲は  
50  $\mu$ n. F. である固定部分と回転部分との絶縁にはテラックス  
を使用し又線輪のQを高める必要から巻枠を用いず兩端  
をテラックスガラスにて保持した。主蓄電巻の兩端に試料挿入  
用の電極が並列に接続されてゐる。試料電極は各種の厚  
みの試料に適する様可動電極となつて居り又試料調整

の便宜上直径  $30\text{ mm.}$  及び  $50\text{ mm.}$  の二種の電極を用意した。

低損失測定用の蓄電器は精密級の蓄電器を解体しホルミチローンで絶縁部分を作り此の操作を遠くから微細に出来る様にした物である。此は正確であるが操作に時間を要する。測定中に試料と電極との接觸面に於て刷子狀のコロナ放電が発生し易いので此れを出来る限り防止する目的から周辺に丸味を付けた平板電極を使用した。其の高周波電圧の印加中に於ける固体試料の發熱に依る膨脹を考へて電極には適當な弾性を持たしめた。本測定には固体試料と電極とは相當密着して居る物と考へて高周波低電圧の場合の如く試料にワセリン等を用いて錫箔を貼付ける事はしなかつた。絶縁物に高周波電圧を印加した後は時間の経過と共に誘電体損に基き熱が発生し温度が上昇する。その結果誘電体損は変化する。温度上昇により材料は膨脹し、その

爲 靜電容量が変り同調に影響<sup>ほ</sup>を及ぼす。又絶縁物の誘電率そのものも温度により変化すると考へられるから、絶えず同調蓄電<sup>ほ</sup>で調整して共振周波数に同調せしめた。リアクタンス変化法によつて同調曲線より損失角を測定する場合に試料の膨脹変形による見掛け上の靜電容量の変化が同調曲線<sup>ほ</sup>に及ぼす影響に就き充分なる考慮を要する。又實驗に際して二次回路に於ける絶縁物の誘電体損による電圧降下が一次の共振回路の高周波電圧に影響<sup>ほ</sup>を及ぼすことが懸念されるが共振回路と二次回路の線輪とは疎結合であり殆んど影響は認められなかつた。

液体の場合は極めて低損失の容器中に之を収め液体自身の損失が小さい時は電極を直接液体中に挿入し損失が極めて大きい時は容器の外部から電極をあてがい高周波を印加した。

主蓄電器 試験電極と並列に電圧計が接続されてゐる、

測定部分に遮蔽を施すことは發振器から測定回路へ、  
漂遊容量結合を避けるため必要であるが吾々の實驗には  
電圧測定部分の特別遮蔽の他は何等遮蔽を施さなかつた。

#### 4. 温度上昇測定.

高周波高電圧下で先づ問題になるのは温度上昇である。

此れがひどくなれば熱劣化(熱破壊)を起すわけであるが  
其の様子は肉眼による觀察を止つてゐる。(之を映画に収めてあ  
つた)<sup>\*</sup> 液体に於ては温度上昇により膨脹を来すわけであるから  
細管により線膨脹係数を測定すれば良い事となる。

温度上昇は水銀寒暖計を入れればよいわけであるが之に依る  
擾乱も相当大きく固体では不適當である。従来は水銀  
寒暖計よりもアルコール寒暖計が多く用ゐられて居たが此は  
高周波の電場では水銀の方が誤差が多いと思ひ込まれて  
居た爲であるが實は波長が短くなればアルコール寒暖  
計の方が誤差が大きい。熱電計は頗る便利であるが残念

※昭和20年5月24日 空襲に依り焼失す



よから高周波電場を印加しながら測定することは出来ない。

極端に強い電場になると此の熱電対から単極放電が起る場合もある。固体では表面に熱感変色塗料を塗り温度上昇を見るのも一方法であり又岡崎<sup>(8)</sup>氏の如く融点の異なる臘を貼付けに置くのも一案である。パラフィン紙を貼付け、各部分の温度上昇の時間の違いを測るのも一つの手段である。

乾燥の状態の時間的経過は天秤で秤量する事である。液体の場合、容器として単なるビーカー形の物或は所謂熱量計法で使用される形の物を用いた。又温度上昇による膨脹を利用するものとしては種々な形の物を試作に見たが我々の実験は余り高電圧である為液体が沸騰蒸發を起し一分足らずで細管をふさふさで実験は十分に進まなかった。

(8) 岡崎

### 第三章 液体に於ける現象

#### 第一節 緒言

液体の高周波高電圧下に於ける現象の研究は從來大別して次の二つと見做し得る。一つは所謂破壊の問題であり、他は温度上昇の問題である。前者は主として絶縁油に就いて研究が成され、後者には絶縁物の誘電体損を熱的に測る目的から成された物と、超短波治療の基礎的資料を得るために電解液に就いて成された物とがある。

液体の所謂破壊は温度上昇と密接不可分の関係にあり、此を分離する事は不可能である。又温度上昇の問題は超短波療法等の如く高周波の生理的利用の観点からするも頗る重要な問題であると共に工業的にも頗る重要である。

從來此の方面の研究は特に波長の短い所では極めて少く破壊の際にも、液体の膨脹に依る誘電体損の測定の場合にも、強力な電場に依る極めて大なる温度上昇の影響に対する考察が

足りふい様に見受けられる。

筆者は單極を液牛に挿入する事により、非常に加熱される現象を見出して居るが此は氣中單極放電と対比して考へる時極めて興味深い物がある。

## 第二節 破壊現象

### §1 序言

液体の高周波に於ける破壊の研究は、直流、 $50\text{ Hz}$ の実験が頗る多いに拘らず割合に実験結果が少い高周波の発振器に於て油入の蓄電器を実用に供して居る事を考へれば、此の研究は單に理論的の興味に止まらず実用上にも頗る重要な問題である。

高周波放電は低周波に於けるものとは其の放電形式が相當に異なつて居る。高電圧下に於ては誘電体損が重要な役割を演じ此の発熱のために絶縁耐力が非常に低下する事は顯著なる事である。電圧印加時間が重要な問題とより印加時間を永くすれば温度上昇のため絶縁耐力が低下する事が認められる。従つて高周波の耐電圧の問題は低周波に於けるよりも、更に嚴重に電圧上昇速度を考へる必要が起つて来る。又長時間の電圧印加に依る液体の熱劣化の問題を充分に考慮に取る必要が起つて来る。

從來の研究を見るに鯨井<sup>(1)</sup>は高周波の電動式発電機に依り $10^5$   $\omega$ 位の波長で実験を行ひ $500 \omega$ に比し幾分破壊電圧が低下するを認めし。

小川技師<sup>(3)</sup>は $10\text{Mc}$ に於て実験を行ひ矢張り $500 \omega$ に比し幾分破壊電圧の低下を認めし。

Sorge<sup>(12)</sup>及び Alräger<sup>(11)</sup>の研究結果に依れば $800 \omega$ 位迄は周波数が増加するに従つて破壊値が上昇する。此は電界の方向の変化が早く極大の間が短い故耐圧が低下すると説明して居る。増加の割合は周波数が低い程著しく周波数が増加する程上昇の割合は小となる Nacher<sup>(13)</sup>は減衰振動波では周波数と共に耐圧力が上昇すると報告して居る。然るに Schlegelmilch<sup>(14)</sup>が $4 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^7 \omega$ 程度の高周波で破壊値を測定した結果に依れば斯かる高周波の場合には周波数が増す程破壊電圧は低下して來てゐる。そして不純物の存在は直流或は低周波交流の場合程破壊電圧に対して影響を及ぼす。

鯨井<sup>(1)</sup> 小川<sup>(3)</sup> Sorge<sup>(12)</sup> Alräger<sup>(11)</sup> Nacher<sup>(13)</sup> Schlegelmilch<sup>(14)</sup>

さふい。尚高周波電圧に於ても或る温度に対して破壊電圧が最大となるが其の温度は低周波の場合よりも高い方につれて来る  
と述べてゐる。

### §2 実験結果

液体の破壊に於ては其の発熱の爲に破壊電圧が大いに影響される故、電圧上昇速度が頗る重要な問題と成つて来る。此の方面の検討は未だ充分に盡くしては居ないが本実験では大体50℃の場合に準じて行ひ、 $\sim 2 \text{ Kr/s}$ 位の程度で行つた。破壊値のチラツキは間隙が小さい間は相當大きいが間隙を引き延して行くと順次測定値のチラツキは減少して行く針電極を用ゐるとチラツキは大いに減少する。液体絶縁物自身の純度を高めて行つても此のチラツキを無くする事は不可能である。

印加電圧を徐々に上げて行くと破壊値より少し低い電圧下に於て液体試料は誘電体損の爲に強い温度上昇を引き起し電極の間に激しい対流が認められる。此の状態より少し

電圧を上げると破壊の起る直前に電極面よりの瓦斯の放出を認める。更に電圧を上げると局部的なコロナ放電が起る。併し此の場合は電極の所々から弱いコロナが放出し、両電極間を不連続的に時々接続するに止まる斯かる状態のときでは液体自身には顯著な変化を認め得ない。更に電圧を少し上げると本格的な破壊が起る。即ち電極間の油が激しく押しつけられて連続的にぶくぶくと音を発生し、油から放電が起り、油は忽ち炭化を起し黒色のもやもやしたものが出来る。又煤も発生する。此等は最初は綿雲の如く電極の間に度がり具の排列はあつても電界の力線の方角に従ふかの如くに見える。破壊に先立って電極の前或いは電極の中間で部分的コロナ発生を認め得る事は高周波獨特のものであらう。又此のコロナ放電が必ずしも相手の電極に向つて発生せず球の表面から周圍に向つて放射状に発生する様な傾向があり又横型の電極に於て放電の道が直

線的に成らず上方に湾曲しようとする傾向にある事は、氣體中での單極放電と比較して考へる時には頗る興味深いものがある。數回の放電を行つて後油を純化しても、或る程度油が煤けて居る様の場合には屢々不規則な破壊値を得る。

此は煤の小片が電極の間に入り込み電界が乱され、電極間の距離が減少する爲であらう。又斯かる場合には此の不純物がもとになつて低周波では殆んど考へられてゐない様な電極から離れた場所で局部的な放電を起すがある。放電で相當に溫度上昇を來して居り、其の後の放電は此の溫度上昇の影響を非常に受ける。

以上の實驗結果をオ17圖よりオ19圖に示す。

### §3 測定結果に対する吟味

實驗結果の曲線を見るに高周波での液体の破壊は大体熱電氣破壊として説明される様に思はれる。即ち高周波での液体絶縁物の破壊は獨特の特性を持ち、



その周波数特性、損失角等との相関性を考慮する時は高周波の破壊の機構は低周波の場合とは大いに異なるものと考へられる。実験中に於て顯著に認められるが如く、誘電体損に依つて試料が極めて強く加熱される事は必然的に熱破壊の考察へと導びいて行く。損失に依る発熱が電極の間の何處かの箇所で強くふると其處で液体がその沸點に到達する程度まで加熱されるものと考察される。即ち其處に小さな気泡が発生し其の中で局部的瓦斯の放電が起り之は其の周りを加熱するるとあり、気泡は段々と成長して行き遂に両電極間を連續するに到るものと思はれる。電極間の間隙が小さい間は電極への熱の放散が比較的容易い。即ち気泡が発生するには冷却が大き過ぎ、気泡がたとへ発生してもその又気泡中で瓦斯が放電を起すためには或る程度の電圧が必要であらう。此の爲めに間隙が小さい間は其の割に比較的耐電圧が大きくなるものと思はれる。而して順次間

隙が大きくなると一般に絶縁物の熱伝導率が悪い故電極への熱の放散が困難となり気泡が発生し易くなる。その  
ため隙を増しても其の割に耐圧が上がらないものと思われ  
る。

誘電体損が大きければ発熱量が大となり当然耐圧は  
下るものと思はれる。

### 第三節 温度上昇と熱劣化

#### §1 序言

高周波高電圧下では絶縁物は誘電体損のために非常に温度上昇を來す。但し液体に於ては熱対流が行はれる故後で固体の場合に述べるが如き局部的な異常発熱はない。

絶縁耐力は充分であっても其の温度上昇のために沸騰変質燃焼を惹起する場合が多いにある。此を純然たる破壊と区別して、筆者は熱劣化と呼ぶとしたい。耐電圧よりも寧ろ熱劣化の方が重大なる役割を演ずる場合も度々あり、周波数の増大と共に此の事は加速度的に重要と云つて來る。

液体絶縁物の損失角、其の他の化学薬品の誘電特性を知るため温度上昇に依る膨脹から之を推定せんとする事は從來比較的よく行はれて來た所であるが此は後述するが如く電圧、インピーダンスと負荷の關係如何、或は絶縁物の温度特性の如何に依つては根本的に或る程度の不確定さをまぬが水

ふい。此の事は液体が非常に加熱される様な場合には特に注意が必要である。

筆者は高周波高電圧を印加してリアクタンス変化法の原理を利用して高電圧下に於ける電氣的特性を求めた。然して此と同時に液体の温度上昇を測定して熱劣化の模様をさぐり発熱量より誘電体損を推定し此等の総合的の批判を行つた。

## 5.2 実験結果

### 1. 7.5 米の実験結果

先づ水銀寒暖計とアルコール寒暖計とを電極間につるし其れ自体の発熱に依る誤差を調べた (第20回参照)

次に容器を空にして之に寒暖計を入れ校正した。

第21図に示す如く相當に温度が上る事は注目に値する。

次に各種絶縁物の温度上昇の模様を調べた。

此の結果を第22図より第27図に示す。次に水アルコールの混

合の割合を変化して此に依る影響を調べた此を第28図より

第30図に示す。

損失の非常に小さいと考へられる物と損失が非常に大きいと考へられる物とが略同一の温度上昇を示すは注意を要するであり此は後述の理論に依り究明される。

## 又 40 米の実験結果

各種絶縁物を第31図及び第32図の如き容器に入れ同1図に示す如き状態で実験を進めた。

1図から明らかなるが如く時間と共に電圧が大いに下るもの(熱劣化を起す物)と殆んど変らぬ物と逆に電圧が上る物とがある。此と温度上昇の曲線とを比較せば頗る興味深いものがある。即ちメチルアルコールアセトンの如く時間と共に温度が上昇し電圧が下る物、大豆油 白絞油の如く温度は上るが電圧も上る物がある 食塩水に就いて濃度を变化して濃度に依る同調曲線の変化(第33,34図)並びに電圧印加時間  $\sigma$  に対する同調電圧の変化を調べた。第33図には  $\sigma = 0$ ,  $\sigma = 20$  分の場合を示して

居るか此等が時間と共に如何に変わるかに別によつて示してある第36図は種々の濃度に於ける温度上昇の様子を示す。

温度上昇の度合より試料部への入力を推定し又同調曲線より高周波高電圧下に於ける食塩水の電氣的特性を求め両者を比較した。

### §3 測定結果に対する吟味

#### 1. 温度上昇の理論

液体の場合は内部で熱対流が行はれる故に假に温度は一様に上るとし且つ充分緩かに温度を上昇さすと假定すると或る冷却面に対しては次式が成立する

$$W = C \frac{d\theta}{dt} + H\theta \quad \text{----- (9)}$$

但し上式に於て

$\theta_0$  ----- 周囲温度  $^{\circ}C$        $C$  ----- 物体の熱容量  $\text{joule}/^{\circ}C$

$\theta$  ----- 物体表面の温度       $W$  ----- 入力 watt.

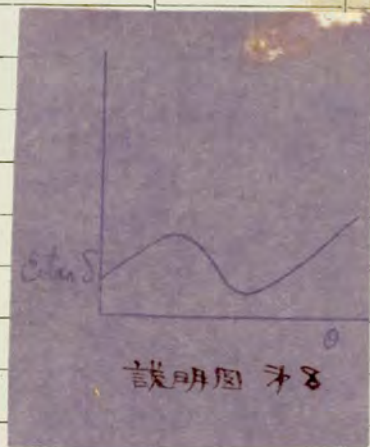
$Q$  ----- 全発生熱量 watt.

# 實 驗 記 錄

昭和 年 月 日 氣 象 溫 度  $^{\circ}\text{C}$  濕 度 %

實驗題目

擔 當 者



H ----- 全放熱係数 watt/°C.

平衡状態に於て温度を  $\theta_0$  とせば

$$\theta_1 - \theta_0 = \frac{W}{H} \text{ ----- (20)}$$

此は定常状態に達したる最終温度上昇にして電圧を加へ  
始めた瞬間より此の状態に達する迄の過渡的変化は次の  
関係による

$$\theta = (\theta_1 - \theta_0)(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + \theta_0 \text{ ----- (21)}$$

$$\tau \text{ ----- 時定数} = \frac{C}{H}$$

逆に冷却さす時は

$$\theta = \theta_1 e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ ----- (22)}$$

ふる式で與へられる

以上の式は  $W$  は一定と考へて居る 然し實際は

$$W = E^2 w \epsilon C_0 \tan \delta = A \cdot B(\theta); A = E^2 w C, B(\theta) = \epsilon \tan \delta \text{ ----- (23)}$$

で與へられ  $\epsilon \tan \delta$  は温度に依り變化する 最も一般には說

明図 8 の如き形で與へられる。

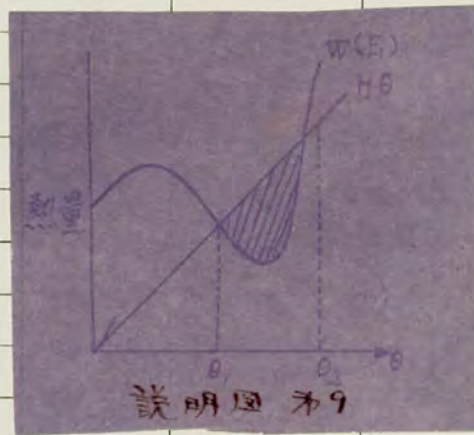


# 實 驗 記 錄

昭和 02 年 月 日 氣 象 溫 度  $^{\circ}\text{C}$  濕 度 %

實驗題目

擔 當 者



$W$ が温度の如何にかかわらず一定の時は従來の熱量計法に於けるが如き考へ方で充分であるが、之は実情に適合しない。故に  $W$  の特性の效果に就いて少し深く考察して見る必要がある。

### 2 熱破壊, 熱劣化, 熱平衡

$B(0)$  は  $B(0)_{0=0}$  より少にふるゝがあり得るが  $0$  にふるゝはふい。然して  $B(0)_{0=0} \neq 0$  故に必ず  $W$  は  $H0$  より上の所から出発する。∵  $H0$  は  $0=0$  の時は  $0$  である。

單位時間の放熱量は  $H(0, -0_0)$  で與へられるが  $H$  は常數ではなく  $H$  は實際には温度の函數であり冷却の仕方に依つても變つて来る。空氣の対流による冷却に対しては

$$H = Sh = S \cdot 2.9(0, -0_0)^{\frac{1}{4}}; (S \text{ は } m^2 \text{ で表はす}) \quad \dots (24)$$

然し今一応此を一定と考へて行く。先づ  $W$  が  $H0$  と交る場合を考ふ。温度と発熱量の關係は説明9の如き物で示される。(電圧を  $E$  として考へる) 圖に於て  $0$  なる温度に於ては發生熱量 =

放散熱量は  $(\frac{dc}{dt})_{\theta=\theta_1} = 0$  故に此の場合は電圧  $E_1$  に対しては温度は  $\theta_1$  にしか上昇しない。 $\theta_1$  より温度が上らうとすると熱源が減少し放散熱量が増す故温度が下る。然し  $\theta_1$  より温度が下らうとすると発熱量は増し放散熱量は減少する故温度は上昇する向きに動く、故に此の点で安定なる平衡状態にある。斜線の部分は  $E_1$  電圧で<sup>は</sup>実現不可能とある。

此の時外部から加熱して  $\theta_2$  の温度まで持つて来たとする。

然らば発熱量は増大する一方であり冷却は之に伴はない故に温度は上る一方であり遂に破壊する。 $\theta_2$  以上の温度で  $W$  の形が  $H\theta$  よりも急激に増大する一方から此は本質的に熱の平衡が得られぬ、此の場合には従来所謂熱破壊が起るのである。又  $W$  が  $H\theta$  と平行或は重なる場合と同様であり熱破壊である。即ち  $W$  が始めから  $H\theta$  に比し急激に或は平行に増大して  $H\theta$  と交らない場合に本質的に熱破壊が起る。

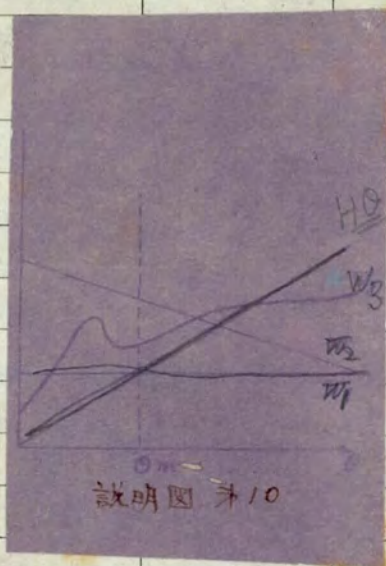


# 實 驗 記 錄

昭和      年      月      日      氣 象      溫 度      °C      濕 度      %

實 驗 題 目

擔 當 者



然して  $W$  が  $H_0$  と交はれば熱平衡に達するわけであるが此の交点が其の液体の耐へ得る温度  $\theta_m$  を越えて居る場合を筆者は熱劣化と名付けたい即ち此の場合は温度上昇のため液体が沸騰したり変質したりしてゐるのである(説明図10 参照)。 $W$  の如く一定であつても其の交点が  $\theta_m$  を越へる場合、或は  $W$  の様に減少する一方でやはり交点が  $\theta_m$  を越へる場合、或は一般に云つて  $W$  の如き場合でも交点が  $\theta_m$  を越へれば劣化が起る。

### 3. 従來の熱量計法の批判

次に最初の場合に歸つて(説明図9 に於て)電圧を上げていふと考へる  $E$ 、或る電圧を  $E_3$  以上に上げたとするともはや熱平衡は得られなくなり熱破壊が起る(或は曲線の先端が  $H_0$  と交つても之が  $\theta_m$  を越えて居る故熱劣化と云ふ)ある一定電圧を加へる場合に於ても周囲の温度條件に依り或る一定の定常状態に達したり熱破壊を起したりする。

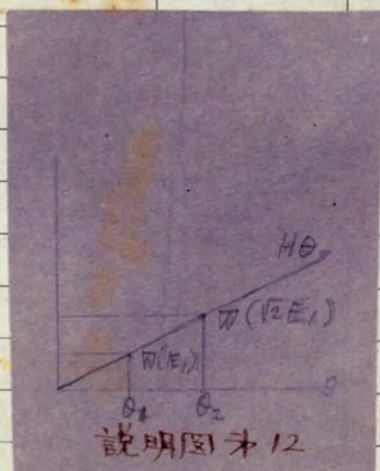
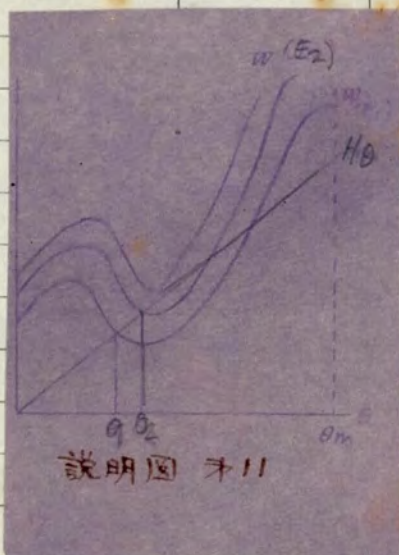


# 實 驗 記 錄

昭和      年      月      日      氣 象      溫 度      °      濕 度      %

實 驗 題 目

擔 當 者



然るに此の中間の電圧  $E_2$  を加へたとすれば  $\theta_2$  なる温度で熱平衡に達する(説明図11参照)。 $V$  が温度に無関係の時は電圧を2倍にせば  $\theta_2 = 2\theta_1$  となるが(説明図12参照)、14図の如き場合にはかゝる関係は成り立たない。即ち加へる電圧の如何により最終の温度が変化して熱量計法より  $\epsilon \tan \delta$  を求めると  $\epsilon \tan \delta$  の  $\theta_2$  に該当する値を得るゝになる。即ち或一つの電圧では或特定の  $\epsilon \tan \delta$  を求めたゝとなり一測定を以て  $\epsilon \tan \delta$  の値を知り得たと云ひ難い。即ちその最終の温度に於ける誘電体損を知るのみである。故に總ゆる温度に於ける  $\epsilon \tan \delta$  を知るためには電圧を変へて測定する必要がある(今迄の熱量計法は電圧の如何により損失が異なる。此は温度により損失が異なる爲である。熱量計法を絶対的方法かゝと盲信するのは一考を要する)。

従來の熱量計法は電圧が低かつた爲破壊劣化が起る心配は無かつたのであるが筆者の如き極めて強力なる電圧で実験する場合には此の事に留意するゝが極めて必要である。

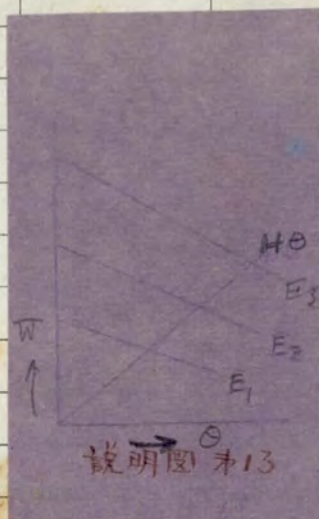


# 實 驗 記 錄

昭和      年      月      日      氣 象      溫 度      °C      濕 度      %

實驗題目

擔 當 者





從來 温度上昇と共に発熱量が減少する場合、電圧を上げておこ  
 へつて温度が下るとの考へを抱いて居た向もある様であるが、此は  
 大きく誤りである。電圧を上げれば必ず温度は上昇する（発熱量  
 が増す故、此は當然すぎる程當然である（説明圖13参照）。從來の  
 熱量計法は一定の電圧を加へ温度上昇に依る液体の膨脹を測  
 定し、此より温度上昇従つて消費せらるゝ電力を算出し誘電体の損  
 失を導き出して居る。然して此の方法では温度に依り  $\epsilon \tan \delta$  の変  
 化が小さい物と假定して居る。此の事は温度上昇が小さければ  
 許し得るかとは知れぬ、感度を高めるため発熱量を増大す  
 時には危険である。即ち前述せる所より明かしく、其の液  
 体が最終に到達したる温度に於ける誘電体損を測定したる  
 により、此の温度は電圧に依り変化する故、妥當なる物でない。  
 熱容量、放熱係数は一定と假定して損失のみが変化するとせば

$$W_1 + \alpha \theta = C \frac{d\theta}{dx} + H\theta \quad \therefore Q_1 = \frac{W_1}{H - \alpha} \text{ ----- (25)}$$

$\alpha$  は  $H$  に比し普通は小さい物であるが之を全く無視する事は不

可であらう。

#### 4 実験結果に対する意味

極めて損失の大きいと考へられる物と、極めて損失の小さいと考へられる物とが略同様の温度上昇を示すのは次の如くに説明される。即ち前述の(16)の式に於て  $w, C_1, C_2, E$  を一定に保ち  $E$  のみを増せば  $E'' = \frac{C_1 + E C_2}{C_2}$  の所で  $G$  が極大値  $w C_1^2 / 2(C_1 + E C_2)$  を示す。従つて同調電圧は逆に谷を示すに依り、或る程度以上損失が大きいと同調曲線はかへって上つて来る(後述)。此のより試料部に大いに電力を入れる場合は温度上昇のみで誘電体損を判定するは危険であるが分る。容器に入れて測定する時は試料の損失が非常に大きい場合と非常に小さい場合とで全く同じ温度上昇を起すがある。又最適の昇温コンダクタンスの時に一番入力が増し温度上昇が一番烈しくなる。故に試料部のインピーダンスが電源インピーダンスより大いなるか小いなるかを先づ考へなければならぬ。

従来ゝ如く極めて良い絶縁物のみを相互に比較する場合  
は温度上昇のみで充分である。又極端に導電性の多い電解液  
等で温度上昇のみで相互に比較する事も差し支へない。

前者にありては損失が増せば増す程温度上昇が大きく、后者で  
は損失が増せば増す程(6が増せば増す程)温度上昇は小に  
なる。

此等二つの物を同時に比較する場合には充分注意するを要す。  
従来とかく電気材料方面では損失の極めて小さい場合のみを  
取扱ひ、生物學方面では損失の極めて大きい場合のみを取扱  
つて居たきらひがあるが、丁度此の中間の所が電波を電力と  
して取扱ふ場合に一番問題となるのである。

## 第四章 固体に於ける現象

### 第一節 序 論

高周波に於ける絶縁物の大多数が固体である現状を考えると高周波高電圧下に於ける固体の姿態は実用上頗る重要な意義を有する。

一般に電気の絶縁物は又同時に熱の傳導性も悪い故に後述する如き内部発熱の現象を起す。此は高周波高電圧下の独特の現象である。(筆者は後述する如く此を逆に利用する事を考へた次第である)固体と電極面との境の空氣が先づ破壊して二次的に絶縁物が破壊する事が頗る多く、眞の破壊現象はなかなか求め難い物であり、此の現象は周波数の増大と共にはげしくなる。諸、此の方面の從來の実験を見るに故鯨井博士<sup>(1)</sup>が電動式高周波発電機で色々な材料に就き実験されたのは實に大正四年の事である。上野、津田<sup>(2)</sup>氏は雲母の破壊に就き発表<sup>(1)</sup>鯨井<sup>(2)</sup>上野、津田

され、理研の岡崎氏<sup>(18)</sup>等は固体絶縁物の温度上昇を盛んに研究されてゐる岡部<sup>(19)</sup>大脇<sup>(20)</sup>等の超短波での二三の特殊の研究がある。我が電気試験所に於ては先輩楠瀬博士<sup>(21)</sup>が送信真空管の誘電体損に依る穿孔損傷に就き研究され小川技師<sup>(22)</sup>は昭和9~10年頃種々の材料に就き研究された。

固体の高周波破壊の実験結果に関する外国文献は少く、僅かに Goebeler<sup>(19)</sup>, Lietzke<sup>(20)</sup>, Inge, Walther Böcker<sup>(21)</sup>等の論文があるのみである此等は主として無機質材料に就いて而も極めて薄い試料に就いての実験結果である最近 Alford<sup>(22)</sup>は硝子の破壊が主として空気の破壊に基づいて起る事を指摘し又 Rohde, Wedemeyer<sup>(23)</sup>は二三の絶縁物に就いての測定結果を発表した。

最近漸く高周波破壊現象が世間に注目され研究も本格的な段階に入らんとしつゝあつた時に大東亞戦争が勃

発し外国に於ける其の後の此の方面の研究の発達には、  
 (18) 岡崎 (19) 岡部 (20) 大脇 (21) 楠瀬 (22) 小川 (23) Goebeler (24) Lietzke  
 (25) Inge, Walther (26) Böcker (27) Alford (28) Rohde, Wedemeyer

知る由もないが鋸を削って日夜研究を進めて居る事であらう。固体絶縁物の破壊の原因は従来理論的に純熱的純電氣的及び熱電氣的の三種類に大別して考へられてゐる。絶縁物の破壊が實際何れの機構に基づくかは絶縁物の厚さ 温度電流の種類 或ひは電圧の加へ方に依つて異つて来るわけであるが、高周波に於ては従来とは別の機構を考へる必要があり、従来理論のみでは完全なものと云ひ難い。

固体の高周波破壊は理論的にも將又実験的にも不充分の莫が多く、未解決の問題が多い。駟馬に鞭打ち今後とも大いに研究を進めたいと願ふ次第である。

## 第二節 破壊現象

### §1 序言

高周波高電圧を固体(絶縁物)に印加して其の時の状態を観察した。種々珍しい現象が起るが破壊の状況、廣義の破壊は大体次の如く大別し得られる。其の第一は電極と絶縁物の間に存在する空氣が破壊し此の爲に二次的に絶縁物が破壊せられる現象であり、此を高周波コロナ破壊と命名した。ふやと云へども此の現象は起り、眞の破壊値を得るのに非常に困難を感じ、此の影響を除去する爲に多大の努力が拂はれて来た次第であるが、高周波に於ては此の現象は特に著しく周波数の増大と共に益々此がひどくなる。然し實用方面から云ふと此が一番重要な問題であり低損失、耐圧優良なる絶縁物程此の現象が顯著であり、殆んど此の爲に破壊が起る。

第二には誘電体損に依る異常なる発熱であり、温度上昇の

爲に絶縁物かもしふくふり遂に破損する此を筆者は  
熱劣化と名付ける。液体の場合にも論じたるが如く熱  
 平衡が得られても其熱平衡点の温度が其の材質の耐へ  
 得る温度を越へて居る場合を指すのである。只液体に比べて  
 内部熱伝導が問題であり内部温度分布が重要とあり此  
 の現象が絶縁物の心部に於て起るのである。

其三の現象は従来低周波で云はれて居る熱破壊であり、  
 本質的に熱平衡が得られぬ場合である。然して高周波に於  
 ては此の場合と云へども従来とは大分趣を異にし所謂  
 点的破壊は極めて少ふく、居る程度熱劣化を起してから此の  
 熱破壊が起る事が多い。

此の三つの現象は互に錯綜して起る故極めて珍らしい様相  
 を示す。又破損するに到らふい迄も発熱状況それ自身が頗る  
 興味ある問題であり、電極との組合せ如何に依つては必ず  
 しも中心部のみが過熱されず、むしろ端面の近くが過熱



される事もある。筆者が最も面白く感じるのは此の中心発熱と端面発熱との組合せて三ヶ所過熱される謂はゞ三つの節のある実験結果を得る事であり、此は特に波長が短い爲に電場がかかる分布をふいた物であく、熱的條件でできる物であつて頗る面白い現象である。

§ 2 高電圧下の誘電特性並びに熱劣化

1 高電圧下の誘電特性

誘電体を同調回路の試験電極に挿入して置き先づ比較的低い高周波の高電圧、200Vを印加せしめ同調蓄電器を操作して同調曲線を取つた。第37図にその結果を示す。ステアタイト等の高周波用の絶縁物は高電圧に於ても非常に優秀である。併し此の程度の電圧に於てもベークライト、フイバー等の粗悪の絶縁物は高周波を印加せしめた後には誘電体損により熱が発生し時間の経過と共に此の損失は次第に増加し同調電圧を減少して行くから、此の実験操作は極めて短時間内に

行った。

## 2 熱劣化現象

絶縁物の破壊に至る迄の誘電体損の変化を見る爲に経過時間に対する同調電圧の変化曲線を求めた。

第38図及第39図は4000V程度の高周波の高電圧を印加せしめた場合の経過時間に対する同調電圧の変化の模様を示したものであり、曲線の終りの處で損傷し完全に變形してしまふ。

磁岩、エボナイト、セーブルレジン棒等の如き  $\tan \delta$  の値の大なる絶縁物は発熱甚大しく同調電圧の時間的变化が急傾斜をなす。此の実験に使用した試料の  $\tan \delta$  は  $(200 \sim 400) \times 10^{-4}$  程度のものである。

ファイバーの如き吸湿性の絶縁物は非常に悪く試料を電極間に挿入すると、同調電圧の指示は非常に低下を示す特に高電圧に於ては著しい発熱を伴ふ高電圧程早く熱劣化を起す。次に木材に附いて同様な実験を行った。此の試料は國産の

材を  $40\text{mm}$  の立方形に切り試験電極に挟んだ。

※ 第40圖の曲線Aは此の木材の破壊に於ける経過時間に対する同調電圧の変化の様相である。木材投入前の高周波電圧は  $4500\text{V}$  であるが試料挿入に依り  $4600\text{V}$  程度に降下する。時間の経過と共に電圧は漸次減少するが暫時にして上昇して来る。此は木材中に含有されてゐる水分が蒸発しその結果誘電体損が減少する爲めと考えられる。

高周波電圧を印加してより10分程度経過すると、水蒸気の蒸発が明瞭に觀察される。15分後に於ては同調電圧は最大値を示し、その後には再び電圧が減少する。この附近に於て猛烈な発煙がある。斯かる状態に於ては木材の内部は円形状に炭化してゐる。この炭化が次々に表面に発達し一部分に貫通孔が現れる。さうして22分後に於ては完全に熱破壊する。興味ある事は内部が炭化してゐるのみでは絶縁物としての役割を果たして居り、表面に

貫通孔が現れる電圧が始めて降下する事である。次に此の様子が電圧に依り如何に変化するかを確かめんとして、第40図の曲線Aに示される如き実験を試みる。300Vの場合には木材は温度上昇と共に誘電体損は一時相當に増大するが、発熱に依り乾燥され、その後は損失は減少する。而して発熱量が放散熱量と等しくなり、平衡状態に達し試料は破壊しない。然るに4,300Vでは誘電体損が一時的に減少するが漸次発熱量が大となり平衡が破れて誘電体損が増大し破壊することになる。次に5,300Vでは此の現象が急速に起り、破壊電圧に至る時間が著しく短かくなる。斯くの如く考へるふらは極めて高電圧を加へると瞬時にして此の過程が起り所謂低周波での熱破壊が起るのでないかと思はれる。次に第39図に於てステアタイト、ポリスチロール、テレックスガラス、密蝟等の各種絶縁物に高周波の高電圧を印加せしめた場合の経過

時間に対する同調電圧の変化の模様を見るにポリスチロール、ステアタイト、テックスガラス等の高周波用の絶縁物は誘電体損は僅少であり、発熱は殆どよく同調電圧の指示は略一定である。併し誘電体損が少く同調電圧が高く、試料部の電界強度が強くなり、電極と試料との接觸面に於てコロナが起り易い傾向にある。コロナが発生するとその高熱の爲に部分的に膨張し、其の結果亀裂を生ず。故あまり高電圧に於ては測定する事が出来なかつた。

一般にステアタイト等は有機絶縁物に比較してコロナ放電が発生し易い。本実験に使用した試料の厚さはステアタイトが  $5\text{mm}$ 、テックスが  $4.5\text{mm}$  のものであるけれども  $2000\text{V}$  内外でコロナを発生する。

ポリスチロールは厚さ  $5\text{mm}$  の國産品の透明なものであるが  $2000\text{V}$  でコロナを生ずる。

ベークライトに就いて実験を行つたが、高電圧に於ては相

<sup>起</sup>  
 當の発生を伴ひ初期縮合物である石炭酸ホルマリン、アンモニア等が熱分解する爲誘電体損が増加し、その結果同調電圧は著しい傾斜を示す。有機ガラスは他の有機絶縁物と同様に始めは経過時間と共に誘電体損は増加するが発熱が或る温度以上になると内部に白色の氣泡が発生しこの結果見掛け上損失は減少し、電圧は上昇する。斯くの如き状態に於ける同調電圧の変化は非常に複雑であり、各個の実験により種々雑多なる模様を示すので図に於ては内部に氣泡の発生する迄の同調電圧の変化の模様を描いた次第である。

### 3. 高温低電圧下の特性との比較

従來、高温の場所で使用される高周波絶縁物に就ては其の高温に於ても優秀なる性能を示すか否かを判定する爲、高温に於ける低電圧下の試験が行はれて來て居る。

然し試験部を高温にする爲めには装置が大となり導線

が長くふり周波数の増大と共に測定上甚だ困難を感じて居た。然るに一方高周波高電圧下に於ては誘電体<sup>損</sup>の爲の著しい発熱があり此に伴ひ温度が上昇する。従つて此を利用せば高温での特性が直に解る。然らば果して外部から加熱して高温下に於て低電圧下で測定せる結果と、高電圧を用ひて其自身の発熱を利用して高温下に於て高電圧下で測定せる結果とが一致するであらうか？

高周波で電圧の如く何に依り特性が変るか？

高電圧を利用せる場合は中心が高温となるが此の内部加熱と恒温槽で外部から温めれば當然外部が高温となり、内部の温度は低いから外部加熱とでは綜合の誘電特性が異なる事は當然考へられるが其の差異は其程顯著な物であらうか？

此を確かめんとして以下述べる如き実験を行ひ比較検討をした。

理研電具製の高周波低電圧誘電体損温度特性測定装置  
 を用ひ、波長30cmで温度を室温より $150^{\circ}\text{C}$ まで上げに見た。  
 本装置は差動蓄電器を利用して抵抗置換法に依り損失  
 を測定するものであるが、吾々は此に改良を加へ、電極の  
 間隙を調節して同調を取り、次に差動蓄電器を操作して  
 検流計の振れを合致させることに依り、精度の高い測定値を  
 得る事に成功した。測定結果の概要を第45図より  
 第46図に示す。實驗結果よりして高温低電圧下の特性と  
 高電圧高温(自己発熱)下の特性とがよく一致して居る事  
 が解る。 $150^{\circ}\text{C}$ 程度では内部加熱と外部加熱との差  
 異は其れ程顯著に表はれてゐない又電圧自体に依る  
 特性の変化は{電圧の変化に依る温度上昇の差異の影響  
 の方が大なる爲}明確には掴み難い。



### 第3 コロナ破壊と熱破壊

固体の高周波に於ける放電現象を調べんとする場合に非常に困る問題は前述せる如く電極と試料との接觸部に於て先づ空氣が破壊し異常な發熱を伴つてコロナ電弧或は單極放電が発生し此の爲に瞬時的に試料が燃焼或は破裂する事である。併し乍ら一方実用上から考へると、此のコロナの問題が極めて重要な事であつて、絶縁物と金属との接觸部に於てコロナが発生して、此の爲に被害を蒙る事が頗る多いのである。台陽子の耐電圧が頭の部分の金属の形状で定り、長さを増しても無効の場合がある。概して高周波超高周波ではコロナが発生すれば殆んど總べての材料は破壊されると云つても良い程である。固体絶縁物に於てはコロナの爲に惹起される現象は次の如く大別し得る。即ちコロナの爲に瞬間に一樣に燃え上るもの、コロナが樹枝狀に材料の表面に沿つて

擴がり、所謂「沿面放電圖形」と極めて類似した圖形を  
畫きつゝ、その軌條に沿って燃えて行くもの、コロナ熱のみで  
破壊するもの、コロナ熱の爲に先づ表面が侵され穴があき  
穴に沿ってコロナが進行し、所謂不平等電界に於ける破壊  
を起し遂に貫通するものの四つの型である。勿論此等は組  
合される故明確に指摘し難い場合も多いが前二者は有  
機絶縁物に多く見受けられ、無機絶縁物は多く後者の  
型に属する。電圧の高い時は有機、無機共に貫通現象  
を起す。要するに誘電体損に依る発熱には耐へてもコロ  
ナの熱に耐へ得るものは少い。コロナが発生すれば耐  
電圧は充分強いものでも殆んど用をなさなくなる。此の  
事は低損失の有機絶縁物に於て特にその感を深くす  
る。以上述べた電極面と材料との接觸面に於ける破  
壊はその破壊狀況が極めて複雑であり、コロナ発生  
の機構は頗る興味深いものである。而もコロナは異常な熱を

伴って居り又低周波での所謂コロナとは全く趣を異にするものであり寧ろ電弧に近いものがあり、一面より考へればコロナより直に電弧型へ移るものと考へられ、寧ろ特殊なコロナとでも名付けて置く方が適當かも知れない。

要するに周波数の高い處での破壊が大作、此のコロナに伴って起るものであるとすれば、此のコロナに対する対策こそ最も緊急を要する事項である。如何にしてコロナを出難くするかは電極の形狀、誘電体の形狀誘電体相互の組合せ、電極と誘電体との接觸部に於ける問題等と關聯して將來充分検討されるべき問題であらう。油中で固体絶縁物を破壊する場合にも同様な事が起る。

吾々はコロナを除いて実験を進めて居るつもりで居るが完全に此より脱却して居るかどうかが疑しい點もある。球電極ではコロナが出てすべて此の爲に破壊してしまつた。

平板電極に於ては、無機質のものでは接觸不充分の爲大體コロナが出た。有機質で膨脹する型のものであれば、比較的コロナが出た。此とても急激に電圧を上昇するとコロナを発生する場合が多い。コロナを発生せず而も誘電体損に依る熱には耐えて居るから耐電圧がもたふくなり此の爲破壊する場合も若干認め得た。併しこの場合とて発熱に依る影響を充分に受けて居り先づ熱にて相當劣化して、その爲に耐電圧が非常に低下されるものと思推される。内部より爆発的に流出する如き觀を呈するものに於ては、電氣的の貫通と熱的の炸裂との前後を判定し難い場合が多い。又コロナの影響よりに破壊せるものかどうかを正確に掴むことも相當困難である。此等のコロナ破壊の実験結果の一例を第1表に示す。コロナの影響を除く爲、変圧器、キレール中其の他パラフィンを電極面へ流し込み試験してみたがやはり空氣が先に破壊

して豫期の目的に適はふかつた。併し効果が相當にありコロナの悪影響を或程度緩和する事が出来た。此の実験結果の一例を第47図より第50図並びに第2表に表す。固体絶縁物の破壊電圧(コロナ, 熱劣化, 熱破壊)の一例を總括的に第3, 4表に示す。

### 第三節 理論的考察

#### §1 序言

周波数の増大と共に破壊電圧が減少する事は一般に認められて居るが、此を如何に説明するか？從來破壊の原因は純熱的、純電氣的及び熱電氣的の三種類が考へられて居り、絶縁破壊の機構を説明する場合如何なる場合、何れの理論を適用すべきかに就いて、從來は大体次の如く考へられてゐた。温度の高い場合絶縁物の厚さが大なる場合には純熱的理論に従ひ、温度が低く且つ絶縁物が比較的薄い場合には電氣的或は熱電氣的理論に、又衝撃電圧を用いる場合には純電氣的理論に依るものと考へられてゐる。純熱的破壊の特徴としては破壊電圧が熱分布の不均一、外部温度、抵抗値、加電時間等により著しく影響を受け純電氣的破壊は温度、抵抗、加電時間の影響が比較的少ない。又熱電氣破壊は以上両者の中間に位するものである。

高周波に於ける破壊は主として熱破壊に依るものと考へられて來て居る。但し熱破壊の考へ方は相當古くからあつたが、此れを具體的に取扱ひ、その温度と破壊電圧との關係を數式的に示し、此を實驗的に明瞭にしたのが Wagner<sup>(15)</sup>であつた。

Wagner の理論は固体誘電体の破壊の理論に一新紀元を劃したものであるが、その取扱ひ方は誘電体と不均質なものと考へ、弱點を考へて、此の溝に發生する熱が此と直角の方向、即ち誘電体の方へ傳導するものとしてその發生せる熱量と發散する熱量とが不平衡にある時の印加電圧を以つて熱破壊の電圧とした。Rogowski, Karman, Greifus Fock, 薄井, 清水, 熊谷氏等は此の理論に対して修正を加へた。

所謂溝の考へはその大きさに關する量が不明であり全く瞬時ホるである。従つて試料を均一と考へ内部の温度が上昇して電極の方向へ熱が傳はるとして種々取扱ひが成されて來た。

又円塙を考へその半径方向に熱が傳はると考へて Wagner の理<sup>(15)</sup> Wagner

論への修正も二三行はれてゐる。此を要するに所謂低周波での熱破壊の理論はその根據を熱の不平衡に置くものであつて電気抵抗の温度特性は温度上昇と共に抵抗が減少する。

即ち  $\rho = \rho_0 e^{-\alpha \theta}$  の如き形で表はされるものゝ根本假定である。此は低周波高温に於ては一般に適當なものとされてゐるが高周波に於ては此の裏は検討の餘地を存するものである。

從來の高周波熱破壊の理論を見るに矢張り低周波と同様に、中央部に於ける温度が或る程度を越す時、熱の不平衡が生じて熱破壊とすると考へてゐる。

Wagner<sup>(15)</sup> は交流電圧の場合にはジュール熱(直流に対応)の他に誘電体損に依る発熱があるために絶縁耐力は直流の場合より小になり、又周波數が大となれば誘電体損が大となるから絶縁耐力は下ると考へた。高周波での等価導電率 $\sigma$ は直流的の部分 $\sigma_1$ と高周波獨特の過剩部分 所謂誘電体損に基づく部分 $\sigma_2$ より成るが、Wagnerは  $\sigma_2 \ll \sigma_1$  であり、

(15) Wagner



周波数の小さい範囲では  $\sigma_2$  は周波数に比例して増加し、誘電体損は温度に無関係と假定して理論を進めた。誘電体損がロールの損失に比して小さいと假定して炭素に交流に対して耐圧が直線的に低下するを示した。0~500マでの Cellon に就いての実験結果が良く理論と一致するを示した。併し勿論高周波では此では不充分である Inge 及び Walther<sup>(21)</sup> は高周波での無機質材料の破壊が熱破壊に依ってうまく説明される場合(ガラス, 磁器), 及び熱破壊でうまく説明のつかない場合(雲母)が存在するを指摘し、熱破壊の場合は *Alreyfus* の理論に依って  $\lambda$  を波長とすれば  $1/\sqrt{\lambda}$  に比例して破壊電圧が下ると述べてゐる。Pöcker<sup>(25)</sup> はガラス磁器に就き実験を行い、此の説明に新しい理論を考へ円筒座標に依り半径方向に熱流が起り此が不平衡に達する條件より破壊電圧を数値的に求めてゐる。併し彼の論文に於ては中心より考へて一定の距離に於て其の値が一定温度に係

(21) Inge, Walther (25) Böcker

えられると假定し、而もその半径が実験結果に合ふ様に選ばれてゐる。従つて材質に依りその半径が相當に異つて來て、俄には首肯し難いものである。此を要するに高周波での破壊の問題は理論的の考察に於ても未だ充分とは云ひ難い。

超高周波に於ける電磁界の分布に関しては安宅氏の所謂中骨作用の研究があるが、此は要するに波長が電極寸法、電極間隙と略々同じに於つた場合の問題であり、吾々の問題には適用し難い。波長が非常に短くなれば境界條件の入れ方が非常に問題であり、條件如何では導波管の問題で知られて居る如く色々な電磁界の分布は存在し得るわけである。(H波に該当する物から逆に中心部が弱くなる)

同氏は此の理論を高周波破壊に適用せんとして居るが、かゝる短い波長での破壊の実験値は亦く、又同氏等が中骨作用の実證として上げて居る物は、実は上の條件にかゝらない物であり、同氏の論文の波長が相當大から中骨作

用は起らぬといふ結論と自己矛盾に陥る物である。

波長が長くても内部が過熱される現象は充分起るのであつて、此は電場の特殊分布を考へなくても以下述べる如く熱傳導のみにより充分説明出来る物である。

## 5.2 高周波破壊に対する筆者の見解

### 1. 筆者の提案の概要

高周波高電圧に於ける固体絶縁物の損傷姿態は大別して次の三つに分類し得る。

#### i. フロナに依る破壊

周波数の増大と共に縁端効果が増大して來てフロナ發生に依り破壊する。前述の如く高周波ではフロナの影響おしに実験を進めて行くは困難で、殆んどフロナ發生電圧に依つて絶縁破壊が決定されて了ふ。如何にしてフロナを出しにくくするが重要な問題である。

#### ii. 熱破壊

熱の不平衡に基づく破壊であり、所謂放電に依る貫通現象を指す。コロナに依る悪影響をふくして実験すれば無機質のものでは此の熱破壊を起す。併し実験は非常に薄いもので行はねばならぬ。平板電極では試料が薄いと容量が増大する故実験ににくい。又球電極ではコロナが発生し易い。

### III 熱劣化

高周波に於ては誘電体損に基づく発熱が甚しく、此の熱のために絶縁物が使用に耐へられなくなる場合が頗る多い。即ち有機質だと変形変質燃焼等の現象を起す。無機質のものだと局部的に熔融したり破裂飛散する。冷却の條件、材料の形状に依って多少は異なるが大体使用に耐へなくなる或一定の電圧がある。此を筆者は劣化電圧と名付けたい。従来とかく熱破壊が考へられてゐたが、実は熱劣化が頗る重要な問題であり高周波では殆んどコロナ破

壊か然らずんば熱劣化で破壊するものである。

## 2 熱劣化の温度と熱破壊の温度

### i 問題の提出

従来熱破壊の考へ方を以ってしてはどうしても高周波高電圧下の絶縁物の破壊現象を十分に表現出来まい。

高周波に於ては有機物に就ては破壊そのものは明瞭に出て来るは已に小川技師<sup>(3)</sup>が指摘された所である。

従来熱破壊の考へ方は中央の温度が或程度高くちつて来ると熱の不平衡に陥り破壊すると考へた。併し高周波での発熱状況が果して斯かる條件に適合するものであらうか？

### ii 熱破壊の温度 $T_m$

或る電界の値に達すると内部温度が或る一定の値  $T_m$  となりそこで熱の不平衡に達し熱的電界破壊を起す。

誘電作損は温度上昇と共に急激に増大する一方と考へ、 $\theta$  を温度とし  $e^{\alpha\theta}$  に比例して増すと考へる時、 $\alpha$  が問題で

あり、その上昇曲線の傾斜が死命を制するものである。周囲の温度の異なる切線の切点の位置の温度が問題である。此の考へでは温度と共に誘電体損が減少する場合には破壊は起らないにふる。

### III 熱劣化の温度 $T_K$

電界を強めて行くと温度上昇が甚だしく、或る一定の温度分布にあり乍らその温度上昇が材質の耐へ得る極限值を越すためにその材質が熱的に劣化を起す。

此の場合には発熱量  $Q$  が問題である、誘電体損が温度上昇と共に少し増大する場合冷却条件に依って或一定の温度分布状態が存在する。電圧上昇により此の温度分布状態が上昇する。斯くて遂に材質はその温度に耐へなくなる。誘電体損が温度に対して不変の場合は勿論誘電体損が温度上昇と共に低下する場合にも、或る電界の強さで或る温度分布があり、此以上に電界の強さを上げれば矢張り  $e^{-\alpha\phi}$  の  $\phi$  の

値にも依るが大體その温度分布状態も上昇する。斯くて遂に劣化温度に達し熱劣化が起る。

#### IV 熱破壊の温度と熱劣化の温度

従來の考へ方は  $T_m < T_R$  で熱破壊の温度  $T_m$  に達すれば瞬間に熱の不平衡に依り局部的に物凄の温度上昇と云ひ瞬間に  $T_R$  を通り越し破壊する。即ち瞬間に熱劣化の温度を通り越すものと考へる。高周波では必ずしもさうでは無い。

#### 3. 熱劣化が先か 熱破壊が先か？

今発熱の條件を考へて見るに高周波に於ては  $\tan \delta$  が  $\omega R$  に対し略々一定で極めて小であつても、 $\omega$  の増大と共に発熱量そのものは異常に増大し、同じ電圧  $E$  に対して高周波では低周波に比し  $Q$  が物凄く大にする。従つて後で数式で示すが如く、低周波では頗る温度分布が平滑なるものが、高周波では尖鋭となる。併し温度に対する係数  $\alpha$  が小さいので、 $Q$  そのものが重要な役割を演じ、劣化温度  $T_R$  が先に生ずる。

この場合は $\alpha$ の値は大した問題ではなく、 $\alpha = 0$   $\alpha < 0$  での結構劣化が起るものである。又厚い試料に於ては特に中央部が温度上昇を甚だしく來たれ、局部的の熱劣化を起し、此が材料の損傷へと導く場合が頗る多い。即ち無機質に於ては破裂、有機質に於ては膨脹、内部燃焼の現象が起つて来る。而して実用上の高周波の支持絶縁物を考へれば相當厚い故、熱劣化が大半を占めるに到る。熱破壊温度  $T_m$  は熱の不均衡の起る處であり、筆者の劣化温度  $T_R$  とは変質燃焼、破裂(膨脹の不均衡)等の起る處を意味するものである。

然らば果して  $T_m$  と  $T_R$  が何れが大であらうか？ 此は全熱源の特質に依るとのである。高周波での等質導電率を、 $\sigma_{50\text{ cm}^{-1}}$  とすれば、此は直流的の部分  $\sigma_1$  と高周波獨特の過剰部分の所謂誘電体損に基づく部分  $\sigma_2$  よりなる。

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 \text{ ----- (26)}$$

固体絶縁物の温度上昇は  $\sigma$  の温度特性で決定され、結局



$$\varepsilon'' = 60 \lambda_{cm} \sigma_{m-1}^{-1}$$

$$\sigma_{m-1}^{-1} = \frac{\varepsilon''}{60 \lambda_{cm}}$$

$$= \frac{\varepsilon'' \tan \delta}{60 \lambda_{cm}}$$

依つて支配される

$$\sigma_{10} e^{\alpha_{10}} \text{------(27)}$$

$$\sigma_{20} e^{\alpha_{20}} = \frac{1}{60 \lambda_{cm}} \varepsilon \tan \delta_0 e^{\alpha_{20}} -$$

$$\frac{1 \varepsilon \tan \delta_0 e^{\alpha_{20}}}{\times 10^{10} \times 2\pi \times 60} \text{------(28)}$$

)(正負或は零)  $\alpha_1 \gg \alpha_2$

低周波の場合は  $\sigma_{10} \gg \sigma_{20}$  ならば  $\alpha_1$  がきいて来て熱破壊が起る。

而して高周波に於ては  $\omega$  が大なる故  $\sigma_{20} \gg \sigma_{10}$ ,  $\sigma_1 \ll \sigma_2$  の時は  $\alpha_2 \gg 0$

の時には熱破壊が起るが  $\alpha_2 \simeq 0$  なら熱劣化とふる。

高周波に於ても極めて高温に於ては  $\sigma_1 \equiv \sigma_2$  が成り立つ

場合もあり、 $\alpha_1$  のために熱破壊を起す場合もあり得るが、

併し概して高周波では高温でも  $\sigma_2 > \sigma_1$  であり  $T_m > T_R$

となり熱劣化が起り易い。

### 5.3 高周波内部発熱と破壊

#### 1 序言

高周波電界の中に誘電体が存在すると誘電体損の爲に

破壊は  $\sigma$  に依つて支配される

$$\left( \begin{array}{l} \sigma_1 = \sigma_{10} e^{\alpha_1 \theta} \text{----- (27)} \\ \sigma_2 = \sigma_{20} e^{\alpha_2 \theta} = \frac{1}{60 \text{ cm}} \frac{\lambda}{\epsilon} \tan \delta_0 e^{\alpha_2 \theta} \text{-----} \\ \quad = \frac{\omega \epsilon \tan \delta_0 e^{\alpha_2 \theta}}{3 \times 10^{10} \times 2\pi \times 60} \text{----- (28)} \end{array} \right.$$

$\alpha_1 > 0$   $\alpha_2 \simeq 0$  (正負 或は 零)  $\alpha_1 \gg \alpha_2$

低周波の場合は  $\sigma_{10} \gg \sigma_{20}$  ならば  $\alpha_1$  がきいて来て熱破壊が起る。

而して高周波に於ては  $\omega$  が大なる故  $\sigma_{20} \gg \sigma_{10}$ ,  $\sigma_1 \ll \sigma_2$  の時は  $\alpha_2 \gg 0$  の時には熱破壊が起るが  $\alpha_2 \simeq 0$  なら熱劣化とふる。

高周波に於ても極めて高温に於ては  $\sigma_1 \cong \sigma_2$  が成り立つ場合もあり、 $\alpha_1$  のために熱破壊を起す場合もあり得るが、併し概して高周波では高温でも  $\sigma_2 > \sigma_1$  であり  $T_m > T_R$  となり熱劣化が起り易い。

5.3. 高周波内部発熱と破壊

1 序言

高周波電界の中に誘電体が存在すると誘電体損の爲に

発熱する。即ち電氣的のエネルギーが熱として失はれて行く。誘電率をある空間には  $\frac{\epsilon}{8\pi} E^2$  に相當する。ところの、エネルギーが蓄積されるのであるが、 $\epsilon$  は一般には複素数であり、電氣変位  $D$  が電界  $E$  と完全に位相差が  $\pi/2$  によらず、エネルギーの損失が起り誘電体の温度上昇を結果する。而してその温度上昇の具合は、普通の外部よりの加熱とは全くその趣が異なり、中央部が過熱される。高周波電界における発熱の問題は極めて重要であり、特に電圧並に周波数の増大と共に著しく重要性が増加して来る。此は損失エネルギーは次式で示されるからである。

$$W = \omega \epsilon C_0 E^2 \tan \delta \text{-----} (23)$$

高周波発熱は絶縁材料の見地よりすれば極めて有害であり、絶縁物が熱のため劣化する事は吾人が屢々経験するところである。耐電圧よりも此の発熱のため材料が破損を惹起す場合が多い。併し一面超短波治療の

如く逆に此を応用する場合と頗る多いのである。

又高周波化学、高周波の特殊作用等を取扱へんとする場合、選擇発熱、内部発熱等の特殊発熱が附纏ひ、高周波特異作用より此を明確に分離する事は極めて困難なる項に属する。高周波特殊作用を單に異常発熱に歸着せしめんとする學者も相当にある位であり、以て高周波発熱の根底を充分に確める事が極めて重要な問題である事は云ふまでもなく、單に絶縁物の耐熱の問題に止らず、応用高周波工学の根底をなすものである。

## 2 熱源の問題

高周波電界に於ける発熱が誘電体損に基づくものと考へて宜いことは上述の通りであるが、然らば此の損失が何に原因するか、問題である。從來考へられて居る所では又極分子の摩擦回転に基づく *debye* の考へ方が先づ一番嚴密に理論と一致する様である。此の他に *Wagner* の二重層の理

論、更に此を展開した。不均一の分散系に関する理論がある。  
 又電荷の移動に基づく *Drude* の理論も存在する。併しながら  
 厳密には誘電体損は二つの部分より成り、一つは所謂誘電体  
 損であり、一つは直流的なものである。高周波に於ける破壊を論ずるに  
 当っては直流的の導電をも無視する事は出来ない。

即ち低温に於ては所謂誘電体損が極めて大きく直流的の  
 導電は無視されるが、温度が上昇して来ると直流の導電率  
 は対数的に増大して来る故、或る種の材料に於ては極めて高  
 温、即ち破壊直前にあつては直流の損失の方が大きくなる事も  
 考へられる。此に反し交流部分の損失の温度に依る変化は非  
 常に小さい。電圧印加後誘電体は損失に依り温度上昇を来  
 す。温度上昇に基づき  $\epsilon'$   $\epsilon''$  が変化する。此に依つて二次的に  
 電界の分布も変る勿論、発熱状態も変つて来る。最も簡単に  
 考へて此の発熱の原因たる誘電体損が温度に依り不変なる  
 場合を一樣なる熱源と名付ける。此に対して温度上昇と共に誘電

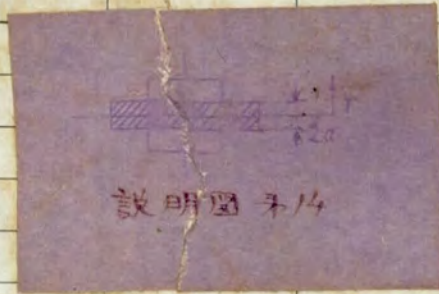
体損が變り発熱量が變化する場合を対数熱源として取扱ふ。  
 勿論此の展開の一次項二次項を取るに依つて一般に線  
 型とか拋物線型等の熱源等の場合も取扱ひ得るものである。  
 以下の議論では電界が一様であると假定する。併し實際には  
 假令最初電界が一様であつたとしても発熱に依る温度上昇と  
 共にその複素誘電率が變化して來るため電界は一様でなくなる。又絶  
 縁物を電極間に挿入する時は決して電界は一様ではない。  
 超短波の高電圧下では此の不均一電界の問題が頗る重要  
 となり、却つて電極の近くの方が過熱されることもある。又其の他種々  
 面白い現象があるが、併し此の正確な取扱ひは数式上極  
 めて複雑になるので以下の議論に於ては簡單のため均一の  
 電界の時のみを考へ不均一電界に於ける問題は割愛して、  
 定常状態のみを考へ発熱の條件、並びに冷却條件に依つて  
 温度分布が如何により破壊が如何なる状態にあるかを考へる。

# 實 驗 記 錄

昭和      年      月      日      氣 象      溫 度      °C      濕 度      %

實驗題目

擔 當 者



### 3 薄板状絶縁物

絶縁物の表面積が大で厚味が薄く、熱が主として電極の方へのみ流れると考へられる場合電極の方向を $r$ とする(説明図14参照)

1) 一様なる熱源

$$d^2\theta/dr^2 + Q/K = 0 \text{ ----- (29)}$$

但し $\theta$ : 絶縁物の任意の点に於ける温度  $^{\circ}\text{C}$

$Q$ : 発熱量

$$Q = \frac{1}{4.2} \cdot E^2 w \& C. \tan \delta \text{ (cal)} \text{ ----- (30)}$$

$E$ : 電界の強さ

$C$ : 試料を空気に置換した時の静電容量  $F$

$K$ : 熱傳導率

上式の解は

$$\theta = -\frac{Q}{2K} \cdot r^2 + C \quad \left[ r=0 : \theta = \theta_{\max} = C \right] \text{ ----- (31)}$$

$$r=a : \theta = \theta_{\min} = -\frac{Q}{2K} \cdot a^2 + \theta_{\max} \text{ ----- (32)}$$

$$\therefore \theta = -\frac{Q}{2K} \cdot r^2 + \theta_{\max} = \theta_{\min} + \frac{Q}{2K} (a^2 - r^2) \text{ ----- (33)}$$

$$\therefore \theta = -\frac{Q}{2K} \cdot r^2 + \theta_{\max} = \theta_{\min} + \frac{Q}{2K} (a^2 - r^2) \text{ ----- (34)}$$



## 自然冷却

Newton の冷却法則に依って次式が成立する。

$$\{d\theta/dr + h\theta\}_{r=a} = 0 \quad h = a'/K \text{ ----- (35)}$$

$a'$ : 放散率

$h$ : 輻射係数

$$C_1 = \frac{Q}{2K} \cdot a^2 + a' \cdot Q = Q_{max1} \text{ ----- (36)}$$

## 強制冷却

絶縁物の表面温度を一定値  $\theta_a$  に固定すれば

$$C_2 = \theta_a + \frac{Q}{2K} \cdot a^2 = Q_{max2} \text{ ----- (37)}$$

即ち冷却方法如何に拘らず温度分布の形は一種であり  
拋物線形である。表面温度を実測し発熱量  $Q$  を誘電体損  
より推定すれば中心の温度は解る発熱量を一定にして表  
面の温度を強制的に上昇して一定温度にすれば中心の温  
度もそれに従って上昇する。

此の温度分布状態式に於ては熱の不平衡が起るべき(温度分布

状態が実現不能になる)何等の理由もない従つて発熱量の増大(印加電圧の上昇)と共に中心の温度が上昇するのみである。 $\theta_{max}$ がその材料の耐へ得る最高温度  $T_K$  になれば熱劣化を起す

ii)  $\alpha < 0$  の場合

$$Q = Q_0 e^{-\alpha r}; \quad d^2\theta/dr^2 = \frac{Q_0}{K} \cdot e^{-\alpha r} \text{----- (38)}$$

上式の解は

$$\theta = \frac{1}{\alpha} \cdot \log \{ 2Q_0 / c\alpha K / 1 + \tan^2 \sqrt{c} \cdot \frac{\alpha}{2} \cdot r \} \text{---- (39)}$$

$$r = 0: \theta = \theta_{max} = \frac{1}{\alpha} \cdot \log 2Q_0 / c\alpha K \text{----- (40)}$$

$$r = a: \theta = \theta_{min}$$

$$= \theta_{max} - \frac{1}{\alpha} \log (1 + \tan^2 \sqrt{c} \cdot \frac{\alpha}{2} \cdot a) \text{--- (41)}$$

$$r = r: \theta = \theta_r = \theta_{max} - \frac{1}{\alpha} \log (1 + \tan^2 \sqrt{c} \cdot \frac{\alpha}{2} \cdot r)$$

$$= \theta_{min} + \frac{1}{\alpha}$$

$$\times \log \{ 1 + \tan^2 \sqrt{c} \cdot \frac{\alpha}{2} \cdot a / 1 + \tan^2 \sqrt{c} \cdot \frac{\alpha}{2} \cdot r \} \text{---- (42)}$$

$c$  は境界条件より決定される。

## 自然冷却

$$\{d\theta/dr\}_{r=a} = -h\theta_a \text{-----} (43)$$

$$\sqrt{c} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \cdot \sqrt{c} \cdot a = \frac{h}{\alpha} \cdot \log \{2Q_0 / \alpha CK / 1 + \tan^2 \frac{\alpha}{2} \sqrt{c} \cdot a\} \text{-----} (44)$$

## 強制冷却

$$\theta_a = \frac{1}{\alpha} \cdot \log \{2Q_0 / \alpha CK / 1 + \tan^2 \frac{\alpha}{2} \sqrt{c} \cdot a\} \text{--} (45)$$

此等の式は簡単には解けないが確かに  $C$  に対して有限なる値の解が存在する 而も  $C$  に対しては

$$\alpha CK (1 + \tan^2 \frac{\alpha}{2} \sqrt{c} \cdot a) < 2Q_0 \text{-----} (46)$$

なる事も明らかである。  $\alpha$  が大いならば  $C$  は小となる。

$$\alpha \rightarrow \infty \text{ なら } C \rightarrow 0 \text{ 又は } Q \rightarrow 0 \text{ なら } C \rightarrow 0$$

此の  $C \rightarrow 0$  の時は温度分布は  $\theta_{min}$  一様となる 此の場合

合は前の場合と同じく熱の不平衡が起る事が多い 従つて前同様熱劣化を起すに止まる。

iii  $\alpha > \alpha$  の場合 :

$$d^2\theta/dr^2 = -\frac{Q_0}{R} \cdot e^{\alpha\theta} \text{-----} (47)$$

此の式の解は次式で與へられる。

$$\theta = \frac{1}{\alpha} \log \frac{\alpha CK}{2Q_0} (1 - \tanh^2 \frac{\alpha\sqrt{C}}{2} r) \text{-----} (48)$$

$$r=0; \theta = \theta_{\max} = \frac{1}{\alpha} \log \frac{\alpha CK}{2Q_0} \text{-----} (49)$$

$$r=a; \theta_{\min} = \theta_{\max} + \frac{1}{\alpha} \log (1 - \tanh^2 \frac{\alpha\sqrt{C}}{2} a) \text{-----} (50)$$

$$\begin{aligned} r=r; \theta &= \theta_{\max} + \frac{1}{\alpha} \log (1 - \tanh^2 \frac{\alpha\sqrt{C}}{2} r) \\ &= \theta_{\min} + \frac{1}{\alpha} \log \frac{(1 - \tanh^2 \frac{\alpha\sqrt{C}}{2} r)}{(1 - \tanh^2 \frac{\alpha\sqrt{C}}{2} a)} \text{-----} (51) \end{aligned}$$

C は境界条件より決定される

自然冷却

$$\sqrt{C} \tanh \frac{\alpha}{2} \sqrt{C} a = \frac{1}{\alpha} \log \frac{\alpha CK}{2Q_0} (1 - \tanh^2 \frac{\alpha\sqrt{C}}{2} a) \text{-----} (52)$$

強制冷却

$$\theta_a = \frac{1}{\alpha} \log \frac{\alpha CK}{2Q_0} (1 - \tanh^2 \frac{\alpha\sqrt{C}}{2} a) \text{-----} (53)$$

$\tanh$  の根本条件として  $\frac{\alpha\sqrt{C}}{2} r$  が 1 より小さい  $\theta$  が必要である然るに  $C = \frac{2Q_0}{\alpha K} e^{\alpha\theta_{\max}}$  なる故  $r$  に最大値  $a$  を選ぶ

とすれば結局

$$Q_0 < \frac{2K}{\alpha a^2} \cdot e^{-\alpha \theta_{max}} \text{----- (54)}$$

なる  $\theta$  を要する。従って表面温度が與へられる時一般には  $\theta_{max}$  が求められるが  $Q_0$  が或る値を越すと  $\theta$  の解が不能となる。

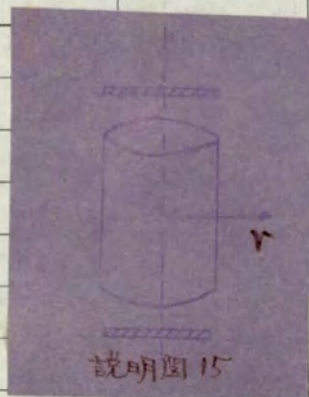
即ち熱の不平衡に陥り熱破壊を起すに到る。

# 實 驗 記 錄

昭和      年      月      日      氣 象      溫 度      °      濕 度      %

實 驗 題 目

擔 當 者



#### 4 棒状絶縁物

絶縁物の厚さが相当厚く定常状態に於て熱が主として放射状に流れる場合を考へる(説明図ノ5参照)

i 一様な熱源

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} + \frac{Q}{K} = 0 \quad \text{----- (55)}$$

$$\text{解は } \theta = B - \frac{1}{4} \frac{Q}{K} r^2 \quad \text{----- (56)}$$

$$r=0: \quad \theta = \theta_{max} = B \quad \text{----- (57)}$$

$$r=a: \quad \theta = \theta_{min} = \theta_{max} - Q a^2 / 4K \quad \text{----- (58)}$$

$$\therefore \theta = \theta_{max} - \frac{Q}{4K} r^2 = \theta_{min} + \frac{Q}{4K} (a^2 - r^2) \quad \text{----- (59)}$$

Bは境界条件より決定される。

自然冷却

$$B_1 = \frac{Q}{4K} a^2 + \frac{1}{2} \frac{a}{\alpha'} Q = \theta_{max_1}; \quad \alpha' = h \cdot K \quad \text{--- (60)}$$

強制冷却

$$B_2 = \theta_a + \frac{Q}{4K} a^2 = \theta_{max_2} \quad \text{----- (61)}$$

平板の場合と全く同様  $\theta_{max}$  が一定の値に達すれば材料

は熱劣化を起す熱の不均衡による破壊は考えられまい。

ii  $\alpha < 0$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} = -\frac{Q_0}{K} e^{-\alpha \theta} \quad \text{----- (62)}$$

解は

$$\theta = \frac{2}{\alpha} \log \left( b - \frac{\alpha Q_0}{8K} \frac{1}{b} r^2 \right) \quad \text{----- (63)}$$

$$r=0 : \theta = \theta_{\max} = \frac{2}{\alpha} \log b \quad \text{----- (64)}$$

$$r=a : \theta = \theta_{\min} = \frac{2}{\alpha} \log \left( b - \frac{\alpha Q_0}{8K} \frac{1}{b} a^2 \right) \quad \text{----- (65)}$$

$$\begin{aligned} r=r : \theta &= \frac{2}{\alpha} \log \left( e^{\alpha \theta_{\max}} - \frac{\alpha Q_0}{8K} r^2 \right) - \theta_{\max} \\ &= \theta_{\max} + \frac{2}{\alpha} \log \left\{ b^2 - \frac{\alpha Q_0}{8K} r^2 / \left( b^2 - \frac{\alpha Q_0}{8K} a^2 \right) \right\} \quad \text{(66)} \end{aligned}$$

$b$  は境界条件より決定される。

自然冷却

$$\begin{aligned} &\frac{2h}{\alpha} \log \left( b - \frac{\alpha Q_0}{8K} \frac{1}{b} a^2 \right) \\ &= \frac{2}{\alpha} \cdot \frac{\alpha Q_0}{4} \frac{1}{b} r / \left( b - \frac{\alpha Q_0}{8K} \frac{1}{b} r^2 \right) \quad \text{----- (67)} \end{aligned}$$

強制冷却

$$\theta_a = \frac{2}{\alpha} \log \left( b - \frac{\alpha Q_0}{8K} \frac{1}{b} a^2 \right) \quad \text{----- (68)}$$



最初の式は簡単には解けないが2番目の式より次式を得る

$$b = \frac{1}{2} \left( e^{\frac{\alpha Q_0}{2}} + \sqrt{e^{\alpha Q_0} + \frac{\alpha Q_0 a^2}{2K}} \right) \quad (69)$$

前者の場合とbの値が少し異なるだけ、bは有限となり

Qが有限なるための根本的に必要な条件は存在しない

即ち此の材料はEの増大と共にQが増し  $Q_{max}$  が3.

へる。材料は遂に熱劣化を起す

iii  $\alpha > 0$

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial Q}{\partial r} = -\frac{Q_0}{K} e^{\alpha Q} \quad (70)$$

解は

$$Q = -\frac{2}{\alpha} \tan\left(\frac{\alpha}{8} \frac{Q_0}{BK} r^2 + B\right) \quad (71)$$

$$r = 0 \quad Q = Q_{max} = -\frac{2}{\alpha} \log B \quad (72)$$

$$r = a \quad Q = Q_{min} = -\frac{2}{\alpha} \log\left(\frac{\alpha}{8} \frac{Q_0}{BK} a^2 + B\right)$$

$$\begin{aligned} r = r \quad Q &= -\frac{2}{\alpha} \log\left(\frac{\alpha}{8} e^{\frac{\alpha Q_{max}}{2}} \frac{Q_0}{K} r^2 + e^{\frac{-\alpha Q_{max}}{2}}\right) \\ &= Q_{min} - \frac{2}{\alpha} \log\left\{\frac{\alpha Q_0}{8K} r^2 + B^2 / \frac{\alpha Q_0}{8K} a^2 + B^2\right\} \end{aligned} \quad (73)$$

Bは境界条件によって決定される。

(74)

自然冷却

$$-\frac{\alpha}{2} \cdot \frac{\frac{\alpha}{8} \frac{Q_0}{BK} a}{\frac{\alpha}{8} \frac{Q_0}{BK} a^2 + B} - h \frac{\alpha}{2} \log \left\{ \frac{\alpha}{8K} \frac{Q_0}{B} a^2 + B \right\} = 0 \quad (75)$$

強制冷却

$$Q_a = -\frac{\alpha}{2} \cdot \log \left\{ \frac{\alpha}{8K} \frac{Q_0}{B} a^2 + B \right\} \quad (76)$$

2番目の式よりBを解けば

$$B = \frac{e^{-\frac{\alpha Q_a}{2}}}{\alpha} + \frac{1}{2} \sqrt{e^{-\frac{\alpha Q_a}{2}} - \frac{\alpha Q_0}{2K} a^2} \quad (77)$$

物理的にBは有限であらねばならぬ従って

$$e^{-\frac{\alpha Q_a}{2}} > \frac{\alpha Q_0}{2K} a^2 \quad \therefore Q < \frac{2K e^{-\frac{\alpha Q_a}{2}}}{\alpha a^2} \quad (78)$$

此の値を越えると熱的不平衡に陥る即ち熱破壊を起す。破壊の瞬時に於て

$$Q_0 = \frac{2K e^{-\frac{\alpha Q_a}{2}}}{\alpha a^2}, \quad B = \frac{e^{-\frac{\alpha Q_a}{2}}}{\alpha} \quad (79)$$

$$\therefore 0 = -\frac{\alpha}{2} \log \left\{ \frac{\alpha r^2}{8K} \frac{2K e^{-\frac{\alpha Q_a}{2}}}{\alpha a^2} \cdot 2e^{\frac{\alpha Q}{2}} + \frac{1}{2} e^{-\frac{\alpha Q_a}{2}} \right\} \quad (80)$$

$$Q_{\max} = -\frac{\alpha}{2} \log \left\{ \frac{1}{2} e^{-\frac{\alpha Q_a}{2}} \right\} \quad (81)$$

$$\begin{aligned} Q_{\min} &= -\frac{\alpha}{2} \log \left\{ \frac{1}{2} e^{-\frac{\alpha Q_a}{2}} + \frac{1}{2} e^{-\frac{\alpha Q_a}{2}} \right\} \\ &= -\frac{\alpha}{2} \log 2 - \frac{\alpha}{2} \log \frac{1}{2} e^{-\frac{\alpha Q_a}{2}} \quad (82) \end{aligned}$$

$$\therefore O_{max} - O_{min} = \frac{Q}{\lambda} \log \lambda \text{ ----- (83)}$$

### 5 考察

以上の論議に於ては熱流が電極の方向或いは放射線状の方向のみの特定の場合を考へた。併し一般には勿論此の両者が同時に起るものである。

併し上記の二つの場合の適當なる組合せを考へるならば、大體の見當はつく。勿論三次元の問題を数式通りに解けば、嚴密なる解を得るが、徒に数式が煩雜となるのみであるから此の議論は割愛する。以上議論より電界が一様なりと假定しても冷却條件を考へるならば、高周波発熱に於てはその中心部が過熱される事は明らかである。

温度に依り発熱量が不変の場合は、温度分布は拋物線形となり温度上昇に依り発熱量が減少する様な場合には、拋物線よりとつと平滑な温度分布となる。此の時の温度係數 $\alpha$ が極端に大きい場合には温度上昇は殆んど起らな

くなる。遂に温度上昇と共に誘電体損が増大する様な場合は、その正の温度係数が小さい間は一つの熱平衡状態を得る。

$\alpha > 0$  の場合には温度分布は相當急峻である。

$\alpha$  が或値を越すと遂には熱の平衡が得られなくなり熱破壊を起す。併し高周波では一般には温度係数  $\alpha$  は小であつて熱破壊より熱劣化の方が起り易い。

板状並びに棒状絶縁物の熱劣化の様相を見るに此等は明らかに中心部が過熱されて居り、上記の理論的考察と全く一致するものである。

### 第三編 特殊應用

#### 第一章 緒論

筆者の高周波高電圧現象の研究の消極的目的は云ふ迄もなく高周波高電圧を支障なく使ひこなせる様に、絶縁設計基準を求める事にある。此の爲には勿論其の根底を成す現象自体を明確に把握する事が必要であり、本編に於ては出来得る限り此に努めようであるが、科学の神祕の宮殿は、さう短時日に扉を開いてくれる物ではない。吾々工学者のさしあつた問題は、如何にして放電熱劣化等を避け得るか、応急対策の如何にある。又他方研究の積極的な目的としては高周波高電圧現象の特異性を如何に利用するかにある。超強力電波の殺人光線或は怪力線としての期待は餘りにも大であるが、此に又一朝一夕にして解決はさうにもない。生物学者との連絡を欠く現在に於ては、生理作用の研究も又他日を期さねばならぬ。吾々の出来る範囲は主として放電

対策、発熱作用の利用に关するものであり、此に关して  
二三研究したので以下此に就いて論じたい。

## 第二章 放電、熱劣化の対策

### 第一節 序 論

高周波高電圧下に於てはオ－編に於て詳述せるが如き現象が表はれるのであるが、高周波を安全に使用し得る爲には、此等の有害な現象には夫々対策を講じなければならぬ。高周波超高周波回路の而も高電圧或は大電力の装置に用いられる機械器具の絶縁部の耐電圧試験等をするに際し従来は電源の都合で直流或は商用周波数の交流で試験して見てゐる場合が多い。併し此の試験で相當高い電圧迄耐得ると云ふ結果を得ても、そのみでは高周波大電力回路に用ひて果して安全なりや否やの確證にはならない。出来得る限り、<sup>商</sup>實用周波数に近い而も實用電力位で現用以上の電圧に於ける試験をして見る事は是非必要である。又試験片で得たる基礎的、実験結果を以て、直ちに實用に應用する事は或程度の危険をまぬかれない。出来得る限り

実情に即して研究を行ひ、現実困つて居る問題を把握し、一日も早く此が対策を確立すべきである。

従来高周波発振器を設計するに際しては耐圧の点に関しては資料が無く、或る程度の推定で済んで来て居た。然しかうした状態で推移する事は當然許されないであり、一日も早く解決すべきである。又今迄有線通信に用いられて居た通信ケーブルを送信機の饋電線として使用する問題、放電防止塗料の実用化等は極めて最近起つた問題である。



## 第=節 饋電線の対策

### §1 序言

現在使用されてゐる空中線用饋電線の多くは平行二線又は同軸式饋電線であるが従來は波長と割合長く電圧も比較的低かつた爲に、高周波破壊に関しては検討が不充分であつた。而して時局の進展に従ひ短波或は超短波の高電圧大電力用として用ゐられる様になつた現今、此に適當する優秀な饋電線を製造する事が緊急の問題と思はれる。然し此際一番緊急の問題は勿論その耐電圧の上昇であらうと思ひ、筆者は此の対策を確立すべく基礎資料を得んとして研究を進めてゐる。

### §2 現用饋電線の破壊

一般に市販に供せられてゐる饋電線並に試作品の耐電圧の試験を行つた。その結果を次の表に示す。

高周波饋電線として従來要求された事は

- (1) 誘電体損失 減衰実効誘電率 静電容量少い。
- (2) 可撓性大にして取扱へ便にして導体の偏りの度小く正確なる位置にある。
- (3) 湿氣に充分耐へ得る。

以上の特徴は何れも饋電線として欠く可らざるものであるが、強力送信機の饋電線として用ひんとする場合には、

- (4) 耐圧が高い 熱劣化を起さぬ。

が重要な問題とあつて来る。従来(1)~(3)には多くの努力が拂はれて来た。佐友製品に於ては高周波絶縁材料 ティソレ(ステアタイト系)を使用して特殊形状のティソレ絶縁体を二つ宛組合せて、中心導体の上に連続して装置せしめ饋電線としての屈撓性を阻害せしめないため隣接絶縁体相互間には適當の間隙を保つて居る。又古河製品は電氣的性能の優れたポリスチロール樹脂を釣鐘狀に成型して用ひ、中心導体には單心・二心・四心共に連続支持をし外部

導体には細い錫鍍軟銅線編組を施して居る。藤倉に於ては一般に絶縁物として絹絲を用ひて支持をして充分湿気にも耐へ得る様に考慮されてゐる。各社共盛んに可撓性大なる構造のものの製作に力を入れて居る。併し(4)に於ては從來検討が不充分である。例へば熱劣化の例を考へるに第5表に於て163の饋電線は中心導体と外部導体間に於て放電は無かつたが結局づみの誘電損失に依る熱の爲流出してしまふ状態であつた。熱劣化の度をもう少し考慮すればとつと理想的の高電圧高周波用饋電線が出来ると思ふ。

次に耐電圧の度を考へて見ると以上種々の試料の高周波耐電圧は理想的の空心の場合に比し相當低い値を示すがその時の破壊電圧は必ずしもその使用して居る絶縁物その物の破壊であると推定する事は正當であらう。已に屢々述べしかば一般の高周波破壊の場合と等しく、饋電線の高周波破壊も絶縁物の優劣よりむしろコロナ発生の難易に依り破

壊電圧が決定され試料の絶縁物の破壊は結局空気の破壊に基づくものの様である。其のため絶縁物の型狀が破壊電圧に直接關係を有するものである。勿論絶縁物には現在以上の優秀のものを必要とするが、又その型狀の如何にすべきかも又重要な問題である。

その型狀に依り高周波破壊の大半を占めるコロナ放電に依る破壊を相當に阻止する事が可能である。

平行二線式饋電線は從來2~5mm程度の銅線を20~30cmの間隙に張る物が廣く採用せられてゐる。最近短波50KW程度の無線電話送信機用として直径10mm線間間隙30cmのものが使用されてゐる。然し今後短波100KW或はそれ以上の送信機の完成される時も遠くはあるまいから、平行二線式と言へども高周波耐電圧の問題は今後益々鋭意研究の必要があるであらう。

### § 3. 充実型饋電線の破壊

前文の所論より明らかなるが如く一般に絶縁物を支持物とせる饋電線は、空心の場合に比して耐圧が低い。然して空心の場合と云へども耐圧は充分とは云ひ難い。此の耐圧を上げる爲には封入気体の気圧を上げるか或は絶縁物で完全に埋めて了ふ必要がある。絶縁物で埋める際少しでも空隙があると、そこから破壊する故に極力此を避けねばならない。此の観点からすれば油入がよいと考へられる。然し気体にしろ液体にしろ流体を入れる物は一度饋電線が何處かで破損するとその対策に困るわけである。

斯く考へると柔軟な固体が望ましい次である。

筆者は象により斯る饋電線の出現を待望し其の「先駆」としてパラフィンを充填せる饋電線で、耐圧を試験し、第51圖の如く耐圧が非常に上るゝを指通し、耐圧に主眼を置く高周波の電力用饋電線に於ては

低損失の撓性絶縁物が是非必要であるとかねて考へてゐた。此の充実饋電線の問題は時代の脚光を浴びて登場して來たが、充実用に使用される絶縁物が問題であり、或はポリエチレンであり或はポリイソブチレンである。

本邦に於ても此が量産化は果然緊急を要する問題となり急促に此の研究が行はれつつある。

筆者も試作充実饋電線の超高周波に於ける特性測定、並びに外國品の検定を行つて居るが耐圧の真に關しても又実験を行つて居る。

其の結果の概要は第52図より第56図に示すが如き物である。

第52図と第53図は同じ試料を夫々30m(リアクタンス変化法)及び30m(温度上昇法)により測定したものである。

54 結 言

現在市販に供せられて居る高周波饋電線並びに二三の試  
 作品に就いて高周波破壊電圧を測定した。何れも豫期した  
 より極めて低い電圧で破壊した。(依つてその原因を確かめ  
 るとして高周波で理想的電極配置で測定を行ひしものと比  
 較し更に饋電線の50%の破壊との比較をも試みる。\*)  
 饋電線の高周波に於ける破壊現象を観察するに熱劣化或  
 はコロナ放電に依るものである。後者は中心導体とそれを支持  
 する絶縁物との接觸部に於いて先づ空氣が破壊を起し異  
 常な発熱を伴つて、コロナ單極放電が発生し此の爲瞬く  
 うちに絶縁物が燃焼或は破裂する。

テイソン(ステアタイト系)の如き無機物に於ても表面がその高熱  
 の爲熔かされて外部導体に向つて放電を起す。概して高周波で  
 は總べての支持絶縁材料はコロナ発生により破壊されると云つても  
 良い程である。殆んど總べての饋電線はコロナに依り破壊されると  
 すれば、このコロナに対する対策こそ最も緊急を要する事柄である。

\* 公本、改、電試案7. 407(AB/P)

無機質のものは高周波コロナに対して比較的堅牢であるが、中に導体と密着せず空隙が残り易く、この空隙部が先づ破壊にしまし、爲に結局耐圧が低い。又有機質の物は劣化し易く、極めて低損失の物以外は強力電界中に使用する $\phi$ は危険である。同一絶縁物でもそれ等絶縁物の形状、中に導体の構造等によってその耐電圧が大いに影響される $\phi$ は顯著なる実である。高周波饋電線は今後此等の事に重点を置いて幾多の改良がなされるべきである。充塞型饋電線は理想的であるが、まづまづ材質的に解決すべき問題が残されて居る。耐圧の点では充分であるが、損失の点で難点がある。設計に於ては特性インピーダンス、損失、耐圧の三つの点をくらみ合せて形状を決定すべきであり、既存のケーブルは夫々要求に応じて適材適所に使う様に工夫する $\phi$ は必要である。



### 第三節 放電防止塗料

高々度飛行放電対策の委員会で高周波装置の放電防止の案を練  
つて居る際、筆者はコロナを防止する爲には塗料を塗つては如  
何と提案した。が、<sup>フ</sup>リポール樹脂が実験的に放電防止に非常  
に効果があるのを認められたので、其れを更に推進すべく放電  
防止塗料委員会が生れた。筆者も其の委員として測定並びに  
放電防止の機構に就いて目下研究中である。抑々直流低周波  
では放電を防止する爲には絶縁物を被覆すれば良いのは公知  
である。高周波でも果して然るか？

高周波では或程度以上の電界強度になれば空気の部分が先づ破壊  
す故放電の機構が低周波直流とは多に異なり、此等と同様の放電  
防止の効果を望むのは無理であるが、多少なりと効果の有るものは明  
らかである。然して現実困つて居る場所には、直流が高周波に重畳し  
て居り此の直流部分が放電に大いにきいて居り此を阻止する  
のにより大いに精華を上げ得る次才である。

高周波で放電防止の効果の有る物は勿論直流に対しては  
大いに効果がある故、高周波で優秀なる性能を有する物をさ  
かするが先決問題である。絶縁物を被覆するとして現実の  
問題としては絶縁塗料を塗るゝとふ。此の際塗料としては高  
周波で用ゐるのであるから先づ低損失なるゝが望ましい。次  
に耐熱度へなるゝが重要である。此は真空管のすぐそばで使用  
する爲である。(高く度では周囲の温度は下るも気圧も下り対流による熱  
の放散は少とふ。)一度放電しても塗料が軟化して物孔を埋め数回  
の放電に耐る如き傾向の物が望ましいわけである。

かゝる目的にかふふ様な物を得べく目下実験を進めて居るが、得ら  
れたる結果は第57図より第68図に示す如くである。

直流と高周波の重畳に対する効果は第69図に示す如くであり、  
直流の部分の放電防止が大いにきいて居るゝがわかる。

### 第三章 強力高周波の特殊発熱の応用

#### 第一節 序 論

高周波を通信、高周波焼入以外に應用せんとするものは從來屢々試みられ所であるが、電力としての應用は皆無と言って良い。強力高周波を利用するに際しては、必然的に発熱現象を伴ふものであるが、そもそも高周波による発熱が單なる発熱以外に特異作用を有するか否か、此は從來大いに論議されつゝある所であるが明瞭な結論には達してない。然し以下述べるが如く発熱の状況は從來の普通の加熱とは全く異なる故其の爲の二次的の特異作用は出て来ても差支へないと思はれる。人体動植物等の生命を有するものに対しては何等かの特異作用がある様に考へられるが、現象が非常に複雑であり遽かに結論は下しえない。此處では発熱作用のみに就いて論ずるゝとしたい。高周波電界中に物体が存在する時は電場は一様ふりと假定して大体過ちはない。電場が大体一様ふりと考へると、即ち一様に熱源が物体内に存在して

物件の表面のみから熱が失はれて行くとすれば内部が高温を示す  
 るは當然の事であらう。然して其の如き誘電体の内部が加熱される現  
 象は高周波の獨特の現象であり、導体に対する表面加熱と好一対を成  
 すものである。又発熱の原因が誘電体損である以上波長に依り発熱が  
 異なる事は當然考へられる所であり、二種以上の物体が共存する時  
 或る特定の一つの物件のみを加熱する所謂撰擇発熱作用があ  
 る事は明らかである。又高周波が特殊の化学作用を呈するであらう  
 事も當然考へられる事であるが、特異な化学作用のみを分離する事  
 が極めて困難な事であるため明確に指摘し難いが、兎に角高  
 周波をかけて加熱せるものが從來の普通の方法で加熱せるものと  
 は大に異なる事は明らかである。此を要するに高周波加熱は獨特の内  
 部発熱の現象を示し、特異な化学作用も伴ふが如くであり、撰擇発熱  
 を利用する事により自分の欲するもののみを加熱し得ると云ふ特徴を  
 有し、此等を適宜使ひになせば大に偉力を發揮するものと思ふ。

## 第二節 加熱作用の吟味

### §1 序 言

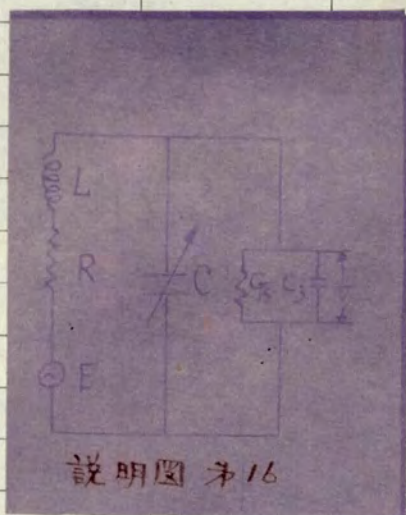
高周波の強力な電界内に誘電体が存在する時は、誘電体損に依って発熱する事は周知の通りであり、固体にあっては前述せるが如く内部が加熱される。然し此高周波加熱を工業的に利用せんとする試みは從來殆んど無いやうである。即ち高周波加熱の工業的応用は全く未開拓の处女地であり、今後研究すべき問題が山積して居る状態である。筆者は此の特異な高周波発熱現象を遂に利用せんと企図し、從來発表され来<sup>弱い</sup>た電界に於ける諸論文とは異なる見地より考察を行ひ、実験的にしかある事を確証した次第である。電磁波を照射する事に依って加熱する事も勿論出来るが、超強力電波が得難い現況に鑑み、主として蓄電器内の問題を考へる所とした。議論の要旨は高周波を用いる場合如何にして最も効率よく物体を加熱するかにある。

# 實 驗 記 錄

昭和      年      月      日      氣 象      溫 度      °C      濕 度      %

實 驗 題 目

擔 當 者



## §2 持異加熱作用の考察

### 1 最大発熱の原理

今発振回路に疎に結合せる二次回路の主誘電器に並列に試料誘電器を接続する。誘電体を試料誘電器に入れ温度上昇を起さねんとする場合、試料挿入時の同調電圧が或る値の時に試料部への入力か極大を示すは當然考へられるのである。二次回路は等價的に説明図<sup>16</sup>の如く書ける。Eは誘起起電力、 $Z = R + j\omega L$ は線路のインピーダンスを示す。今主誘電器Cを操作して同調曲線を取る。試料無き場合の同調電圧を $V_0$ 、試料挿入時の同調電圧を $V_1$ 、試料無き時の等價コンダクタンスを $G_0$ 、試料挿入時の等價コンダクタンスを $G_1$ とすれば、

$$G_1/G_0 = V_0/V_1 \quad G_s = G_1 - G_0 \quad \text{-----} (84)$$

故に試料部に費されるエネルギーをWとすれば、

$$W = G_s V_1^2 = V_0^2 \frac{G_0^2}{G_1^2} (G_1 - G_0) \quad \text{-----} (85)$$

Wが極大なる爲には  $\partial W / \partial G_1 = 0$  此の爲には  $G_1 = 2G_0$

故に  $G_s = G_0$  なるを要する。結局試料部への大いなるエネルギーを供給する爲には  $G_s$  を  $G_0$  に等しくする必要がある此爲には一般に次の方法の内の何れかに依るはよい。

(1) 試料の形を変える。比導電率を  $G$  とすれば形に依って  $G_0$  が変わる事は明らかである。但し厳密には材料中に於ける電界強度、冷却条件等を考慮せねばならぬ。

(2) 所謂絶縁物では狭義の誘電体損が発熱の原因となる物であり、 $W$  を変えて行けば  $G_0 = \epsilon W C_0 \tan \delta$  は変化し或る特定の周波数の時に  $G_0$  に等しくなる。

(3) 電解質の水溶液等の場合には濃度を變化し直流的の導電性を増して  $G_0$  を變化する。此の場合は  $W$  を變化しても  $G_0$  の値は大いに変化は無い。

電源の内部インピーダンスが負荷のインピーダンスに等しい場合に最大エネルギーを供給し得る事は電気工学に於ては公知の事実に属する。然るに本論文に於て此を強調する所以のものは從來の



高周波発熱論に於ては斯る考へ方が全然なく今迄の理論を以つては高周波の大勢力を利用せんとする場合かへつて過る結論に陷る恐れが多分にあるためである。

## ∞ 選擇発熱の批判

### i 誘電体の周波数特性に依る考察

波長を変へて行くと或波長の所で特に発熱が大になると考へられがちであるが此は唯々味を要する。或物体に高周波を掛ける時波長を変化して行く際発熱の問題は導電率を考へなければいけない。今周波数の変化に対して誘電体の特性が如何に変わるかを考へる。従来提案された誘電体理論は夫々立場は異なるが書き改めると結局次の形の式となる

$$\begin{aligned}\dot{\epsilon} &= \epsilon' - j\epsilon'' & \epsilon' &= \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_0 - \epsilon_{\infty}}{1 + \omega^2 \tau^2} \\ \epsilon'' &= \frac{(\epsilon_0 - \epsilon_{\infty})\omega\tau}{1 + \omega^2 \tau^2} \text{----- (86)}\end{aligned}$$

但し此等の式の算出には  $K$  を成極率として

$$K = \frac{3}{4\pi} \left( \frac{\epsilon - 1}{\epsilon - 2} \right) \text{----- (87)}$$

を採用して居る。但し  $\epsilon_0 - \epsilon_{\infty}$  は次式で與へられる。

提案者	$\tau$	$\epsilon_0 - \epsilon_\infty$
Debye	$\frac{\epsilon_0 + 2}{\epsilon_\infty + 2} \frac{4\pi N a^3}{KT}$	$\frac{4\pi}{3} \frac{(\epsilon_0 + 2)(\epsilon_\infty + 2)}{3} \frac{LM^2}{9KT}$
Drude	$\frac{\epsilon_0 + 2}{\epsilon_\infty + 2} \frac{\rho}{f}$	$\frac{4\pi}{3} \frac{(\epsilon_0 + 2)(\epsilon_\infty + 2)}{3} \frac{n e^2}{f}$
Wagner	$\frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{\sigma_1 + \sigma_2}$	$\frac{\epsilon_1 \sigma_2 - \epsilon_2 \sigma_1}{(\epsilon_1 + \epsilon_2)(\sigma_1 + \sigma_2)^2}$

$\epsilon$  ----- 複素誘電率

$\epsilon'$  ----- 複素誘電率の実数部分 (普通の誘電率)

$\epsilon''$  ----- 複素誘電率の虚数部分

$\epsilon_0$  ----- 静電的誘電率 ( $\omega = 0$  K 対応)

$\epsilon_\infty$  ----- 光學的誘電率 ( $\omega = \infty$  K 対応)

$\tau$  ----- 時常数

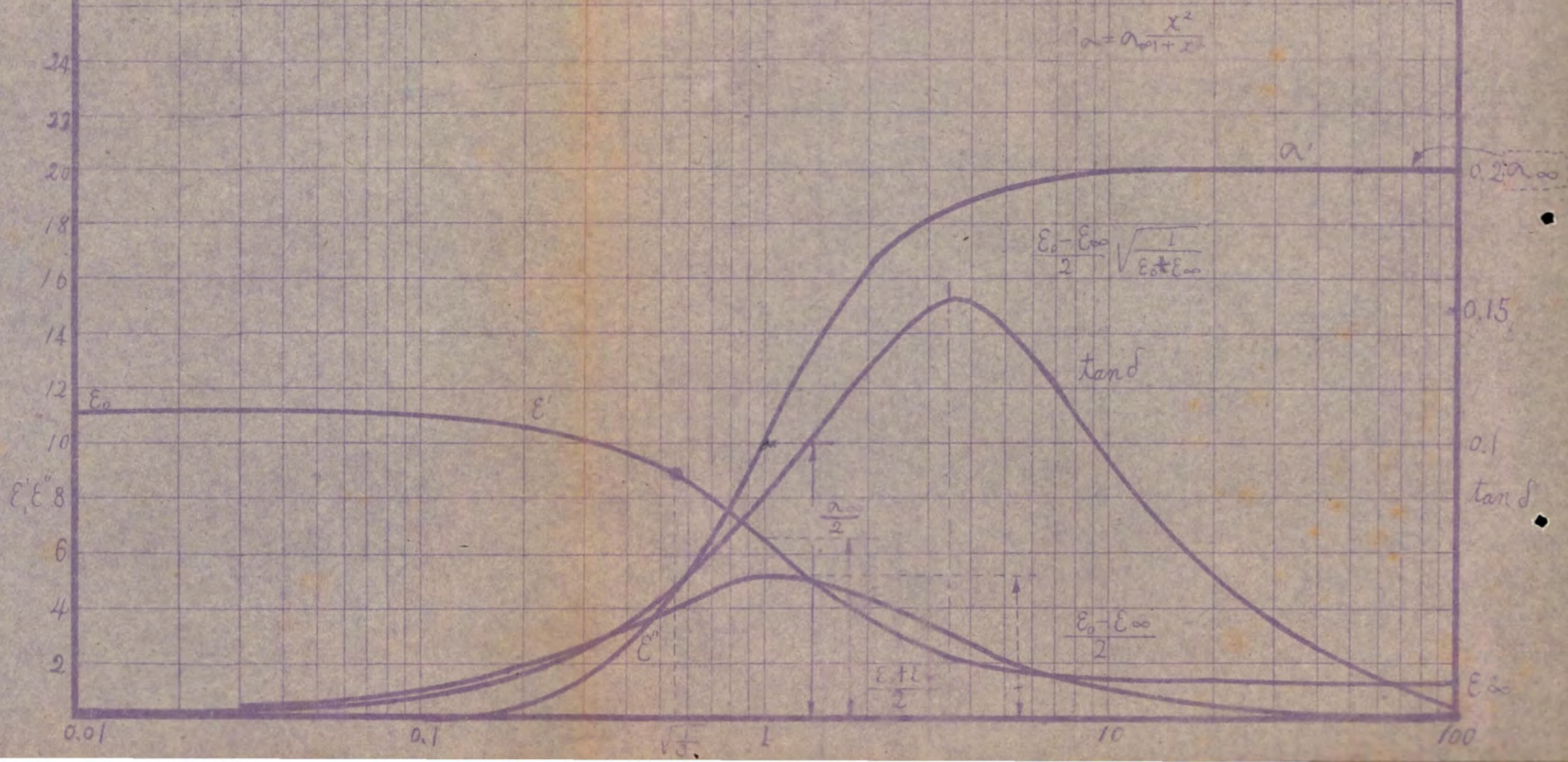
$K$  ----- Boltzmann 常数

$T$  ----- 絶対温度

$a$  ----- 分子半径

$\rho$  ----- 粘性

$L$  ----- 双極子の数



M ----- 分子重

n ----- 荷電粒子の数

e ----- 電荷

f ----- 求心力

し?

問題は異状分散現象の物理的意味如何にあるが先づ

般式より周波数特性を数式的に調べて見る

$$\epsilon'_{\text{Lond}} \tilde{G}_{\omega} = \frac{\omega \epsilon'}{120 \pi c} = \frac{\epsilon_0 - \epsilon_{\infty}}{120 \pi c} \frac{x^2}{1+x^2} \frac{1}{c}; x = \omega c \quad (88)$$

$$\frac{d\tilde{G}_{\omega}}{dx} = A \frac{2x}{(1+x^2)^2}; A = \frac{\epsilon_0 - \epsilon_{\infty}}{120 \pi c} \frac{1}{c} = \tilde{G}_{\infty}$$

$$\frac{d^2\tilde{G}_{\omega}}{dx^2} = A \frac{(1-3x)(1+x^2)}{(1+x^2)^4} \quad \therefore x = \sqrt{3} \text{ が屈曲点}$$

今  $x=1$  の点を假に分散の中心点と名付けると此の所で  $\tilde{G}_{\omega}$  は

$\frac{\tilde{G}_{\omega}}{\tilde{G}_{\infty}}$  となり  $x=0.1 \rightarrow x=10$  迄変化する間  $\tilde{G}$  は  $0.009\tilde{G}_{\infty}$  から  $0.996\tilde{G}_{\infty}$

迄変る。即ち  $x=1$  の近傍で  $\tilde{G}$  が非常に大きい変化をする。(説明

図17参照)  $x=0$  の時  $\tilde{G}$  は0で  $\omega \rightarrow \infty$  の時一定の値  $\tilde{G}_{\infty}$  に近づく周波

数を変へても  $\tilde{G}$  には別に山がない。即ち或周波数で最大のエネルギー

を與へると考へる事は根本的な大きな誤であり斯かる意味での撰擇



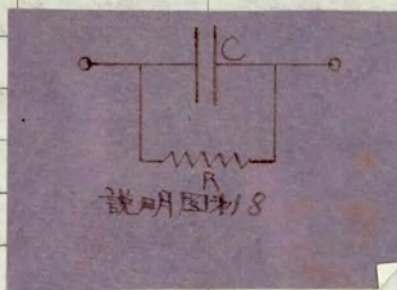
# 實 驗 記 錄

昭和 年 月 日 氣 象 溫 度  $^{\circ}\text{C}$  濕 度 %

實 驗 題 目

擔 當 者

$$\frac{9}{\omega} = \frac{2}{4}$$



$$I = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C} = \frac{IR}{1 + j\omega CR}$$

$$\begin{aligned} & \frac{IR(1 - j\omega CR)}{(\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2})^2} \\ &= \frac{IR}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}} \end{aligned}$$

発熱なる考へは誤である。

## ✓ II Pätzold の理論に対する批判

従來の高周波発熱理論に於ては Pätzold の理論が大勢を支配して居る様であるが 此は或る物体に於て  $E, \sigma$  が一定

なる時周波数を変化して  $f = \frac{E}{2\sigma}$  なる條件を満足する場合に其の物体が非常に加熱されるとの考へである。然るに此は誘電体を等質的に説明圖18の如く置き  $W, C, R$  が変数なる時常に

一定電流  $I$  を流すと云ふ事より出發して居る。此の事は端子電圧  $E$  を其の時其の時の  $R, W, C$  に対し  $\frac{R}{\sqrt{1+W^2C^2R^2}}$  に比例して変化する事を意味する。(電圧一定ふらは損失は  $\frac{E^2}{R}$  で與へられ  $E$  周波数には無關係である)  $I$  を強制的に一定とせば、電力損失は  $\frac{R}{1+W^2C^2R^2}$  で與へられる。 $R$  のみを変化せば  $R = \frac{1}{W C}$  の時に電力損失が極大となる。即ち  $\sigma = \frac{E}{2f}$  の時に最大となる。此の結論は  $R$  を變へて行つた時のみ、極大があり其の極大を起す  $R$  の値は  $f$  と共に變る事を意味し  $E, \sigma$  一定で  $f$  を變

へて行っても決して極大はない。故に  $\epsilon_0$  が與へられる時に最適波長が有るとの考へは根本的に誤まって居る。絶縁物では  $f$  に依って  $R$  が変化する故発熱に極大の起る可能性はあるが從來の如き  $R$  一定で  $f$  により最大があるとの Pötzold の結論は大きな誤である。

Pötzold の議論は直列に異る層が存在する場合各層の最適の周波数が異ふ。故選擇發熱が起ると考へるのであるが、一番根本の最適周波数の考へ方に疑点がある。

### III 選擇發熱の新解釋

高周波に依る物体の加熱に於ては他の加熱法と異なる特異点がある事は明らかであり巨視的に見れば第二編に於て詳論せる内部發熱が存在する。然し微視的に見れず高周波電場に依る分子の強制振動であるから普通の加熱とは異なる。

然し或る周波数で特に選擇的に此の分子發熱が強大になるとの考へ方は過ちである事は明らかである。

又 *pötzold* の云った如く  $\varepsilon, \sigma$  が一定で  $f$  を変へて行つた時

$f = \frac{\varepsilon}{2\sigma}$  の所で選擇的に熱が出ると考へる事も過ちである。

選擇発熱は單一負荷に対してはむしろ、次に述べるが如く  $f$  の変化に依つて全体のインピーダンスが変り、此のインピーダンスが最適の値となる様な周波数で、最大の発熱が起ると起き代<sup>る</sup>りきであると思はれる。多くの素子の負荷が直列にある時あるインピーダンスの値の物が選擇的に大きな発熱を起す事は当然であつて、 $f$  を変化せば其の各々のインピーダンスが変る故其の  $f$  の変化に対する各インピーダンスのvariety具合が異れば異つた周波数では他の異つた素子が選擇的に加熱される事は考へられる。

此の意味で  $f$  を変へて所望の物を選擇的に加熱する事は可能性があり、此を選擇発熱と解釋すべきであると思ふ。

然し最適の條件にかなふ物が選擇的に加熱される事は何にも高周波のみに限つて表れる事ではふく、電気工学の基礎理論である。多くの素子の負荷が直列或は並列にあれば當然或



る物が一番加熱されると云ふ選擇的の発熱は存在するが、周波数に依り此の最大発熱を起すものを取換へる事が出来るとは限らない。要するに高周波で  
 1) ある場には何か特異な分子の共振現象でもあって選擇発熱現象が表はれると考へるのは誤であつて高周波の選擇発熱は等價インピーダンスの組合せに依り当然起るべき事が起つて居るのに過ぎないのである。

(1) 高周波選擇発熱とは多くの物が混在する時或波長で或物を他の物よりよけいに加熱させ、波長を変へるに依つて又他の或物を他の物に較べてよけいに加熱し得るを指すと解釋する。波長の如何にかゝらず、或特定の物が何時も一番よく加熱される如き場合は此も選擇的の発熱には相違ないが高周波選擇発熱と特に金名を打つわけには行かない。多くの素子が並列にあり一定電圧が掛るとすれば $\omega$ を変化しても高周波選擇発熱は存在しないが直列回路では存在する。

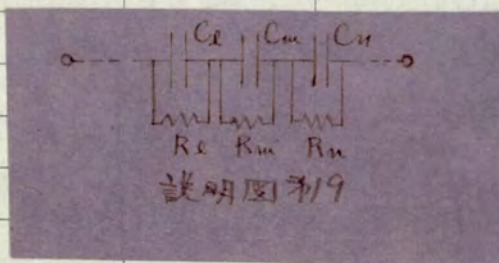
(2) 選擇発熱の問題を考へるには先づ電解質型の物と絶縁物型の物と此の両者が混じてゐる型の物の三つに分けて考へるのが便利である。

# 實 驗 記 錄

昭和 年 月 日 氣 象 溫 度  $^{\circ}\text{C}$  濕 度 %

實 驗 題 目

擔 當 者



(3) 電解質型の物とはイオン導電に基づく $\sigma$ が非常に大で他の原因に依る $\sigma$ が無視され $\sigma$ も $\epsilon$ も $f$ に無関係と考へられるが如き物を指す。此の場合説明図19の如き等価回路で置き代へられるとするとある $\omega_1$ に対しては $R_e = \frac{1}{\omega_1 C_e}$ が成立する所の $l$ 番目の素子が他の物より一番加熱され $\omega_2$ に対しては $R_m = \frac{1}{\omega_2 C_m}$ を満足する $m$ 番目の素子が一番加熱される。然し $l$ なら $l$ ,  $m$ なら $m$ なる素子に着目すれば $\omega$ の変化に依って発熱が極大を示すのではない。

(4) 絶縁物型の物とは $\omega$ の増大と共に $G$ は増大し極限值に漸近し $\epsilon$ は異状分散を示す如き物を指す。或 $\omega_1$ に対して $[R_e]_{\omega=\omega_1} = \frac{1}{\omega_1 [C_e]_{\omega=\omega_1}}$ が成立すれば $l$ なる素子が一番加熱される。

又或 $\omega_2$ に対して $[R_m]_{\omega=\omega_2} = \frac{1}{\omega_2 [C_m]_{\omega=\omega_2}}$ ならば $m$ なる素子が一番加熱されるわけであるが、かかる條件に適合する絶縁物の組合せを見出すのはむしろ困難であらう。

(5) 電解質型と絶縁物型との混合物、或いは一つの素子が此の両者を兼ねて居る物(例へば水分子が異状分散を起す波長領域に於ける電解質)

の混った物では勿論、選擇発熱は起り得る。

### 3 周波数の変化と発熱

誘電体損を  $W = E^2 \omega \epsilon_0 \tan \delta$  なる式で表し電界強度が同じであるならば  $\tan \delta$  は  $W$  に対して大レス変化が無いとして、 $W$  の増大と共に誘電体損は増大する故に誘電体損を利用して発熱させる場合は周波数が高い程有利であると從來兎角考へて居た。

然るに此は電界強度が  $W$  と  $\tan \delta$  に依つて影響を受けないと假定しての語であり、誘電体損が非常に小さく電源への反作用なしと假定して居る筈になる。然るに実際には  $W$  の増大と共に  $G_s$  が異常に増大して来る故に  $G_s$  が最適値を越すと却つて試料部への入力は減少する。又  $W$  が大になつても  $E$  が同じ値を占めると假定する筈自体は超短波極超短波での発振器の出力が非常に大きいを意味する。即ち超高周波で大電力の得られない現在に於ては  $W$  を増しても勢力が足りない故、結局大なる発熱を期待出来ない。高周波勢力が熱に変るのであるから大なる発熱

を求めるには大なる高周波勢力を要する。

誘電体損に依る発熱を利用せんとするに際し、一定の出力しか  
ない発振器の出力を十二分に有効に利用せんとする場合には單  
に $W$ を増せば誘電体損が増す故に有効なりとの考へは改めぬ  
はさうない。

## 最大勢力供給の問題

i 負荷の  $\sigma$  が小さく又は電源の電力が大で  $\sigma$  の値の如何に拘らず一定電圧を供給し得る場合。

此の條件の成り立つ範囲では勿論  $\sigma$  が増大する程電力の消費は大となる。所謂絶縁物にあつては  $f$  を増す程  $\sigma$  は増大するが其の値は小さい故大体上の條件にかなひ電圧が同じなら波長の短い程加熱が甚だしい。

ii  $\sigma$  の値が相當大で  $\sigma$  の値に従つて  $E$  が変わる場合。

一定出力の高周波発振器から出来得る限り多くの電力を取らうとする場合等が此に該当する。電源の内部コンダクタンスを  $\sigma_0$  とする時、負荷のコンダクタンスが此と適合する時最大の出力を取り得る。負荷の形を変へたり  $\omega$  を変へたりして最適條件を求める  $\beta$  が出来る。

iii 電源の周波数を変化させる場合。

絶縁物型の物では  $\omega$  を増大させると  $\sigma$  は 0 から順次増大して

$\sigma_\infty$  に漸近する。此の  $\sigma_\infty$  の値が  $\sigma_0$  に比べて小さいならば、

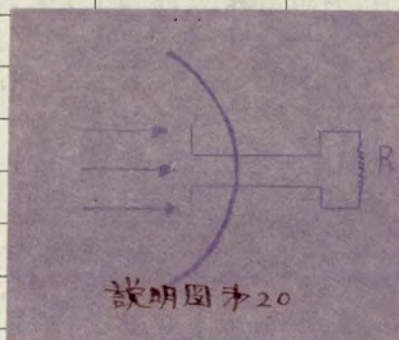


# 實 驗 記 錄

昭和      年      月      日      氣 象      溫 度      °C      濕 度      %

實 驗 題 目

擔 當 者



i の如く  $\omega$  を増せば増す程供給勢力が増大する。然し  $G_{\infty} > G_0$ 。  
 亦或る周波数で  $G_{\omega} = G_0$  が成立する所がある。斯る  $\omega$  を選  
 へば最大勢力を供給し得る。此より  $\omega$  が大でも小でも入力が減  
 少する。

iv 電波を照射する場合。

例へば説明図20の様には抛物鏡を以て受波する場合。もし  
 空中線に整合した饋電線及び終端抵抗を用ふるならば、  
 到来勢力の一部が抵抗  $R$  中に熱損失となって消費せられる。  
 即ち空中線に誘起せられる電圧を  $E$  とせば抵抗に流れる電  
 流は

$$I = \frac{E}{R_r + R} \text{ ----- (89)}$$

茲に  $R_r$  は空中線の輻射抵抗にて丁度抵抗に電流を通ずる  
 電源の内部抵抗と見做される。 $R_r$  の最大出力は  $R = R_r$  の時に  
 て此の電力  $P$  は

$$I = \frac{E}{2R} \quad R I^2 = \frac{E^2}{4R} \quad P = \frac{E^2}{4R} \quad \text{である}$$



又此れと全く同じ丈の電力が受波空中線に流れる電流に依り再輻射されるわけであるから結局空中から取り入れる電力の1/2が勢力損失になり残餘が再輻射に変わる。

完全に到來電磁勢力を吸収する $\Phi$ は此の場合不可能なのである。以上の $\Phi$ は全く同様にある形をした物に電波を吸収せんとする場合に起る $\Phi$ 柄であらう。

### 第三節 加熱作用の基礎実験

#### 5 / 実験結果

##### 1 / 最大電力供給方法

最大発熱の原理を実證せんとして液体の加熱現象の所で既に述べたが如き実験を行つた。即ち食塩水に就いて濃度を變化して導電率を變へる。同調曲線の變化より等價導電率は解るし、一方食塩水の熱容量を濃度に略比例するとすれば温度上昇の度合より試料部への入力が解る。食塩水の濃度が或る最適値の所で温度が一番上る。此はインピーダンス整合に基くものであり前述の所論に良く合致する事が証明される。(参照図参照)物体の高周波高電圧下に於ける発熱現象を考察する場合に、同調電圧の大小、試料の厚みを考へるのみでは不充分であり試料の示す等價コングタンスの値如何に依り試料部でのエネルギーの損失は異なる事を考慮せねばならぬ。又逆に高周波発熱を工業的に利用せんとする場合には此のインピーダンス整合に依る最適條件を考慮しなければならないのである。

## ○ 周波数の変化と温度上昇

周波数の変化に依り  $\tan \delta$  に山を示す物は多いが、此を等価導電率になほせば  $\delta$  には山が無い。従って電圧を一定とせば周波数を変化しても発熱には山が無い。從來とかく  $\tan \delta$  に山があれば其の周波数に於て発熱も最大になる様に考へられ勝であつたが此は誤であり理論的にも実験的にもかゝる  $\delta$  は有り得ない。実験的証明としては從來発表され來つた諸家の  $\tan \delta$  の測定値を  $\delta$  に直して見るに山をなす物は一つも無い。電解質に於ても周波数により山を示すものは無い。筆者は更に此を研究すべく鯨蠟に就いて  $f$  を変へ温度上昇を実測し才70図の如き結果を得た。又低電圧で周波数を変へ測定せる結果を  $\tan \delta$  で書き表せば同図の如くなる。即ち單一負荷に対しては選擇発熱なる現象はなく最適波長なる物は存在しない。多くの負荷が並列にある如き場合には或物が他の物より余計に加熱され、周波数と共に此の最大の物が変るといふ意味での選擇発熱は存在しない。

## §2 電界分布の制御と温度分布

### 1 序

高周波を加熱に正しく用ゐるには吾人は特に対象物の加熱を左右する条件を知らねばならぬ。此の条件の一部は既成であつて、従つて変化せぬ物であるが一部は吾人の選擇及び判断に委された物である。既成の条件には対象の寸法及び其の電氣的特性が属する。此處に興味あるものは加熱の標準となる外的及び技術的條件である。之等を確立せんとして以下述べる如き基礎実験を行つた。加熱の大小は電圧、電極間隙、即ち時間の大小により支配される事は勿論であるが、他にも種々條件が考へられる。從來治療の方面の考へ方では、電氣力線の分布のみを考へ加熱は電界強度の二乗に比例するとして、これのみより温度分布を決めてかかつて居る。然し冷却條件を無視した、かかる考へは加熱現象を追及する際には不充分である。即ち治療方面では表面が加熱されて内部を加熱するには特に技術

を要する様に述べて居るが此は口味を要する。

## 2 電極の電位の影響

蓄電器電界で加熱する際両電極はかならずしも<sup>対称</sup>電位ではない。

ブリッジ回路を採用せば全く対称電位にある筈であるが。

普通の回路型蓄電器は固定板と回転板との大きさが異なる。

為どうしても固定板の側の加熱電極が低電位となり勝である。

此の為電界の分布が対称でなく、此の影響が顕著に

表されて来る場合がある。(第71図参照)単一管による発振の

場合は陰極側(接地側)の電極が低い電位となる。筆者の試作せ

るか如き全く対象の電極を相対待せしめて其の間隙を変化させ

るか如く作った蓄電器を使用せば加熱両電極は全く<sup>対称</sup>電位と

なり均一加熱には極めて適合して居る。(第72図参照)

## 3 電極の対象に対する大きさの影響

1 対象<sup>物</sup>が電極より大なる場合。

対象物が電極より大で電極に対し四方に向って突出し其の横断

面は如何なる方向に於ても電極の表面より大である場合には電気力線は電極から発散性<sup>散</sup>に対象に向ふが、此は電気力線の内部分散が行はれる $\phi$ を意味し、其の結果電気力線の密度及び発熱が物体の内部よりも表面に於て大である。間隙をはなせば電界は一樣となるが電界強度は弱くなり発熱は小となる。(オク3図参照)

## II 対象物<sup>物</sup>が電極より小なる場合。

対象が電極より小で電極の方が対象に対して四方に向つて突出し其の横断面は如何なる方向に於ても電極の表面より大である場合には電気力線は收斂性に対象に向ふ。分散は行はれず、  
 及び対に電気力線の密度は対象物の内部に於て大となる。即ち内部が非常に加熱される $\phi$ となる。(オク4図参照)

## III 一方向に対象物が大きく一方向に小なる場合。

I, II の組合せでありやはり内部加熱が表はれる。

IV 対象物の形配置の仕方の影響 対象物の横断面が異なる場合。

電界は恰も対象物に吸入される様な形となり電界密度は一様でない。即ち横断面の大なる所よりも小なる所の方が電界密度大であり細い部分が過熱される事となる。(ヤ75図参照)

然し冷却条件も大いに関係して来るし、対象物の電気特性が温度と共に変る故一般には相当複雑な現象になる。

4. 電極の配置と形の影響。

i 距離が表面積に比して小なる場合。

電気力線は一極から他の極に向って殆んど平行に走って居るが、  
 (図) 辺縁部に於ては少し外方に湾曲する。電界は大体均質である。

ii 電極の大きさは其の儘とし、其の距離を増す場合。

電気力線は最早平行しなくなり電界の中央部に於て分散するに至る。即ち電界の密度は減少する。電界は均質ではなく電極の表面に比して其の距離が大となればなる程益々電界の密度は小となる。然し冷却条件のため矢張り内部加熱になる(ヤ76図参照)

III = 箇の同大の電極を用いて其の電極の対象に対する距離を種々に変ずる場合。

此の場合種々なる発熱作用を起す事が出来る。間隙が狭い方の側が加熱が烈い。(オク図参照)

IV = 箇の同大の電極を取り平行で無しに一定の角度をなす様に置く場合。

電気力線の分散の他に尚電界を不均質となす因子が現はれて来る。距離の短い辺縁部相互間に於ては電気力線は距離の長い辺縁部よりも密である。(オク図参照)

V = 箇の大きさの異なる電極を用いる場合。

電界密度及び加熱は小さい電極の下では大である。(オク図参照)  
従って小電極を能動電極、大電極を受動電極と云ふ事が出来る。(受動電極は大して加熱に參與しないが能動電極から出る電気力線の方角を制御する作用は持つて居る様な使い方がある)  
事情に依っては受動電極を全々取り去って唯一枚の電極を用



いて加熱する事も出来る。電気力線は恰も受動電極が無  
限に大であるかの如く走る。

## 5. 電極の形

### i 環状電極

電界内にある物体の長軸に沿って電気力線は浸透する。中央部に於て電気力線の密度は大となる。(第80図参照)

### ii 可撓性電極

一様加熱の爲には電極の対象物からの距離は總ての處に於て相等しくおられねばならぬ。換言すれば電極の表面と物体の表面とが出来るだけ平行におつておられねばならぬ。さうでないと電極下の加熱は不均等となる。例へば平面をなす電極が物体の隆起せる部分に対するとすれば電界の密度及び加熱は凸出部の方が大である。(第81図参照)

逆に平滑な物体表面に湾曲せる電極をあてがつても同様の事(第82図参照)が起る。電極の湾曲が強ければ強い程益々電界の密度は帶狀に増加する。此の現象を帶狀の加熱帶を作るのに利用出来る。

物体の表面と電極とを平行にするは一様加熱には望ましい事であるが

此をなすには二つの方法がある。即ち物体表面を電極に適応せしめるか、又は此と反対に電極を物体表面に適応させるかである。物体の表面に適応さすには軟い可撓性の氈又は海綿ゴムで出来た下敷を電極との間に挿入するの一方である。

## 第四節 加熱作用の利用

### §1 序言

高周波電界中に物体が存在する時は其の電界分布は決して一様ではない。然し此を厳密に求める $\phi$ は相當困難であり、大体的見當としては電場は一様なりと假定し、物体の表面のみから熱が失はれて行くとすれば、内部が高温度を示す $\phi$ は當然の $\phi$ であらう。然して斯の如き物体の内部が加熱される現象は高周波の獨特の現象であり、導体に対する表面加熱と一對をなすものである。從來物体を加熱する場合は表面よりの熱の滲透を待つより他に方法なく、熱の傳導性の悪い物にあつては内部迄の加熱は極めて困難な問題であるとされてゐる。厚みが増せば増す程困難を加へ、肉厚の深部加熱は殆んど不可能であり、表面が黒焦になつても内部がなんら加熱されていないと云ふ様ふ $\phi$ が起る。斯の如き場合に高周波を利用すれば極めて有利である $\phi$ は明らかである。又発熱の原因が誘電体損である以上使用波長で大いに発熱が、異なる $\phi$ は當然考へられる所であり、二種以

上の物体が共存する時、或特定の一の物体のみを加熱する所謂  
 選擇発熱作用がある事は明かであり、此を利用して周波数を適當に選  
 び、接着剤のみを加熱する事も可能である。又高周波が特殊の化学  
 作用を呈するであらう事も當然考へられるのであるが、高周波での特異  
 の発熱の影響を取り去って特異な化学作用のみを分離する事が  
 極めて困難な事であるため、學術的には明確に指適し難いが  
 とにかく、高周波をかけて加熱せるものが従來の普通の方法で加熱  
 せるものとは大いに異なる事は明かである。此を要するに高周波加  
 熱は、獨特の内部発熱の現象を示し、特異な化学作用も伴ふが  
 如くであり、選擇発熱を利用する事に依り自分の欲する物のみを加  
 熱し得ると云ふ特徴を有し、此等を充分生かして使へば偉力を發揮  
 するものと思ふ。高周波加熱は未だ未開拓の處女地であり、今後研  
 究すべき問題が山積してゐる状態である。然し吾々は新分野の開  
 拓と同時に新に獲得した知識は出来得る限り此を利用せねばなら  
 ない。乏しい筆者等の実験から大膽な結論を下す事は勿論無謀で

あるが此所に取へて試験結果を公開して工業的にも有利であるとの結論の證左に供せんとするものである。

## § 2 加熱用強力発振器の設計

### 1 発振器設計基準

高周波内部発熱を工業的に利用せんとするに當つての一番の問題はかかる目的に叶ふ強力発振器の製作にある。時局下充分なる発振器は資材の点からも製作は困難であるから出来るだけ簡略である $\beta$ を旨とせねばならぬ。発振回路としては一番簡単な自勵発振方式を採用する $\beta$ とした。通信用の場合は出来得る限り能率よく働かすと云ふ $\beta$ が一番問題であらうが、高周波加熱の工業的利用の様な場合はむしろ非常にゆとりを取つて発振器を設計し、安全に特殊の技術を有さなくとも容易に働かせ得る様にする $\beta$ が結局得策ではないかと考へる。例へば出力 $1\text{KW}$ の物を負荷の変動にかかわらず何時も充分に $1\text{KW}$ に働かす $\beta$ には非常な困難があるが出力 $10\text{KW}$ の物ならば何の不安もなく $1\text{KW}$ に操作さす $\beta$ は出来る真空管の壽命

等から考へても真空管の非常なる入手難をば考へる時之の方が得策ではなからうか、次に波長の選定であるが高周波の勢力が結局熱に変わるのであるから大出力の発振器でなければならぬ。波長が短くなれば出力の大なる物は得難く又波長が短かいと操作も非常に不便である。余り超短波は避<sup>け</sup>るべきである。

## ② 高周波加熱の効率

高周波に依り物体を加熱せんとする際、その効率を考へるには次の二段に分つを便とするが、又別の見地よりは設備費と運轉費との両方よりも勿論考察がなさるべきである。

### ① 電源設備より高周波勢力を物体に印加する迄の効率

周知の如く現在の高周波発振器が直流の勢力を高周波勢力に轉換する効率は余り良いものではない。然かも陽極電源の直流は交流を一回整流し此を利用して居る状態である。然し此は高周波電力として用ゐる場合には必ずしも完全直流になほす必要はないと思ふ。先づ大まかに見て大体入力の30%~40%は高周波勢力として実

際利用出来るものと思ふ。

## ii 高周波加熱自身の効率

高周波の電場が物体の内部に浸透して発熱作用を起す故に高周波勢力が熱に変わるのは殆んど100%と見てよからう。此は高周波加熱の一番大きな特長である。即ち従來の如く熱傳導を利用して加熱せんとする場合は、強化木の如き熱傳導の悪いもので、而も、肉厚な物に就ては殆んど不可能に近い物であるが、高周波にありては極めて簡単に能率良く加熱出来るのである。

## 3 加熱に必要なエネルギーの計算例

高周波の設備は相當高價につくが、熱効率の極めて良い故加熱に要する勢力は極めて少い。運轉費の方で賄得るとすれば問題は割合簡単である。特に従來不可能であつたものが高周波に依つて始めて出来るとすれば少々高價に就いても問題ではない。時勢は單なる經濟的利潤と云ふ様な問題よりも技術的に優秀で



あらねは"ならないと云ふ方向へ変換しつつある様に思へる。

問題は如何にして高周波大電力を目的物(具体的な例で云

へは"強化木)の内へ入れるかにある。此が"一番大きい問題

である。強化木に掛る電圧を $E$  角周波数 $\omega$  誘電率 $\epsilon$  損失

率 $\tan\delta$  静電容量 $C$ とせば"強化木にて消費せられる電力は

$$W = E^2 \omega \epsilon C \quad \tan\delta = E^2 \sigma_{\omega} \text{ ----- (23)}$$

之の式より明かなる如く電力を消費するには $E$ が"大なる程よく

$\sigma_{\omega}$ (交流導電率)が大なる程よい。然るに $\epsilon \tan\delta$ は殆んど"周波

数に無関係故 $\sigma_{\omega}$ を大にするには $\omega C$ を大にするを要す。然るに $\omega$ を

大にすれば $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ,  $C = \epsilon C_0$ なる故此に適合する $C$ は小になり実用

上困難となる。従つて $C$ の方より制約されて $\omega$ にも一定の極限がある。

但し $C_0$ は次式で與へられる。

$$C_0 = S/d \times 0.0886 \quad \mu\mu F \quad \left\{ \begin{array}{l} S \text{ 面積 } cm^2 \\ d \text{ 厚さ } cm \end{array} \right. \text{ ----- (90)}$$

又今一つ考へべき $\beta$ は上式では $\sigma_{\omega}$ に無関係に $E^2$ 一定と考へたが、実は

$E$ は $\sigma_{\omega}$ 如何により変化するものであり $E^2 \sigma_{\omega}$ を最大ならしめる爲には $\sigma_{\omega}$ は

或特定の値になる必要がある。即ち $\phi$ は過大でも過小でも不万である。負荷インピーダンスを高周波電源インピーダンスと等しくする時に最適状態が到達されるのである。斯の如き点を考へ又取扱ひの便等を考へると、大体周波数 $10^6$ 程度が適当であらうと思はれる。

(寸法後述)

強化木の圧縮成型過程の平均の電気特性として $\epsilon = 5$ ,  $\tan \delta = 9 \times 10^{-2}$ ,  $f = 6 \times 10^6$ ,  $E = 10^4$  volt とせば高周波の消費電力は約3 kWとなる。今プロペラのボス部分の加熱を考へる。木製の枠に入水外  
部より高周波で加熱するとする。此の際の冷却條件が問題であるが  
先づ全表面より自然冷却されると假定する。又簡單の爲ボス部分は一  
様に加熱されるとして計算を進める。木枠も、大体強化木と同じ性質  
と假定して全体の寸法を $38 \times 38 \times 200$  cm と推定する。全表面積  
 $A$ は $5128 \text{ cm}^2$  体積 $V$ は $2880 \text{ cm}^3$ 、周囲の温度を $0$ 、最後の温度  
を $\theta$ 、入力を $3 \text{ kW}$  とせば最後の平衡状態に於ては、

$$\text{入力} = \text{表面積} \times \text{放熱係数} \times \text{温度差} \text{ --- (91)}$$

$$\text{放熱係数} = 2.9 \times 10^{-4} (\theta - 0)^{\frac{1}{4}} \text{ watt } ^\circ\text{C cm}^2$$

$$3 \times 10^3 = 5128 \times 2.9 \times 10^{-4} (0_1 - 0_0)^{\frac{1}{4}}$$

$$\therefore (0_1 - 0_0)^{\frac{1}{4}} = 2015 \quad 0_1 - 0_0 = 442$$

温度上昇の様子は次式で與へられる。

$$\theta = (0_1 - 0_0)(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + 0_0 \quad \text{-----} (12)$$

$$\text{但し } \tau = \text{時常數} = \frac{\text{全熱容量}}{\text{全放熱係數}} = \frac{V \times \rho \times c (\text{cal})}{0.24 \times A \times h (\text{watt})}$$

$$= \frac{28880 \times 0.66 \times 0.35}{0.24 \times 5128 \times 2.9 \times 10^{-4} \times 442^{\frac{1}{4}}} = 4060 \text{ sec}$$

$$\rho \quad \text{密度} \quad 0.66 \text{ g/cm}^3$$

$$c \quad \text{比熱}$$

依つて20分後の温度上昇は

$$0_{20} - 0_0 = 442 \left\{ 1 - e^{-\frac{1200}{4060}} \right\} = 111.5$$

$$\therefore 0_{20} \doteq 130^\circ \text{C}$$

若し放熱がないと假定せば(金型プレスに入れ、金型をあらかじめ蒸気で  
予熱するものとす)高周波の勢力は温度上昇のみに費される $\phi$ となるから

20分後に $110^\circ$ の温度上昇を起さす爲に必要な電力(Heat = V. O. C. P)

$$\frac{28880 \times 60}{4.2} = 28880 \times 110 \times 0.35 \times 0.66$$

$$\therefore X = 256 \text{ watt.}$$

冷却がある場合でも長時間後の最後の平衡状態に於て温度を130

°Cと假定して此に必要な入力を求めると

$$X = 5128 \times 2.9 \times 10^{-4} \times 110^{\frac{5}{4}} = 540 \text{ watt.}$$

となる。但し此の時の時定数は

$$\tau = \frac{25880 \times 0.66 \times 0.35}{0.24 \times 5128 \times 2.9 \times 10^{-4} \times 3.24^{\frac{5}{4}}} = 5750 \text{ sec.}$$

であり相當長時間となり不経済である。

ボス部分を加熱する場合、周囲を保温しておけば約300W、自然冷却に

せば約3KWあれば20分間で大体130°Cになる。充分に安全を見て

プロペラー一本に3KWの高周波勢力があれば20分じよい3Kになる。10本

を一度にやるとして30KWの高周波勢力があればよい。此のためには

出力50KWの発振機一台を作れば充分である。

### §3 本製飛行機具の他に於ける応用

#### 1 序

高周波発熱の理論的新分野の開拓と同時に新に獲得したる知識は出来得る限り此を利用し人類福祉増強に努めねばならない。乏しい筆者等の室内実験から大膽な結論を下し、此を直に工業化に持っていくのは勿論無謀であるかも知れない。然し敢て此所に室内の試験結果を報告し此に対する技術的の検討をかへ工業化が頗る有利である $\beta$ を強調したい。

#### 2 強化積層材の製作

角型の強化積層材の製作は最近極めて大型の強化木桁が要求されてゐる現況に鑑み、至急高周波加熱を適用すべきである。大型になればなる程高周波は偉力を発揮すると思はれる。薄物を積み重ねて電極を中間に入れて一撃に多数の桁を作る $\beta$ は頗る有望である。従来著者の実験では出力3KWで長さ2米、幅40cm、厚さ20cm位なら充分出来る。(第83図より第86図参照)波長を延ばし電

力を増せば極めて容易に實際化の能である。

### 3 木材の乾燥

高周波は内部より加熱される故 湿気は完全に追ひ出される抑へ  
湿気は高温の部分より低温の部分へ行く性質を有するのである  
から従來の如く外部より加熱するのでは仲々に乾燥が出来な  
い。実験に徴するも高周波を加へれば極めて短時間に完全乾  
燥になる(才87回参照)極めて強力な発振器を作れば従來数  
日を要して居た木材の乾燥も瞬時にして行へる筈になる。EP加  
時間と湿気の脱出状態との関係は才88図に示す。

### 4 木材の接着

木材の接着には従來非常に長時間を要して居る。此を高周波で  
促進さす爲に図に示す如き状態で実験を進めた。

引張りの試験法が難いので才89図に示す如き斜の面の接  
着とし、引張試験を行つて接着の強度を見る筈とした。接着が  
非常に強くなると却つて木材の方が引き千切れる様な場合も

相当あつた<sup>超</sup>加温時間が非常に短縮され強度が却つて増大する事は非常に注目を要す。(第4表参照)

### 5 木材構造物の接着

木製飛行機の機体、翼、尾翼等複雑なる構造物の高温接着は従来非常に時間を要して居る大きな部屋全体を一定の高温に保つ爲に膨大な設備を要する。然して高周波の極めて強力なる発振器があればその蓄電器の中を流して行く事により極めて短時間に接着が完成される物と思ふ。

第90図に示す如き基礎的研究を実験室内で行ひ、第97表の如き結果を得た。高周波はその大きい所を通り易い爲大部分は複雑な形をしる物を通り、且つ空気の部分では損失がない故極めて能率よく高周波勢力を木材構造物に吸収さす事が出来る角解である。木材構造物の形を保つに爲る爲に釘を相当用ひてある角解であるが、此が過熱される心配はない様である。余り高周波を強力にしなければ釘から放電の起る事は大体無い。電場の不均一

に依る温度分布の不平均は心配される所であるが、此も差程大きな影響はない。熱劣化を起し始める様な場合は注意を要する。



## 第四章 高周波に依る成型プロペラの工業的製造

### 第一節 序 論

人類の福祉増進の爲航空機の増産が焦眉の急務である事は言を待たない。然して木製プロペラが其の持対性能の爲並に資材の莫から急速量産が要望されつつある事も論を待たない。其の製作に於て最も難点とする所は高温接着に於て内部迄充分に加熱するのに長時間を要する事であり、ボスの部分の如き肉厚の物にあつては特に此の悩みが深い。然るに誘電体損失に基づく高周波加熱を利用する時は、内部より加熱される爲問題は極めて簡単に解決される。筆者は高周波熱劣化現象の対策を練つて居る際、発熱の様相が従來の如何なる加熱方法とも異なり内部が高温になる事に注目し此を工業的に利用しては如何との考へを抱いた。然して検討の結果工業としても充分成立し得るとの確信を抱くに至つた。高周波加熱を工業的に利用し、成型プロペラの製作時間を飛躍的に短縮する事を意図して行つた中間工業試験の結果に基き、愈々工業化の可能性が明確となつた事は喜ばに耐ない。

## 第二節 実験結果

### §1 序言

基礎的豫備実験は主として電気試験所に於て行ひ工業化の豫備  
 実験及び実物プロペラの製造実験は松下航空株式會社<sup>(工業)</sup>プロペラ  
 製造所へ発振器を輸送し現場で実験を行った次第である。今此  
 等の実験に使用した機具を挙げれば次の如き物である。

電源設備は第二編第二章第二節に於て述べたものの方に該当する。

### 1 圧縮器

#### i 電試備付の物

- (1) 第91図に示す如き物であり圧力 $100 \text{ kg/cm}^2$ 位かゝる。
- (2) 最近建設せる物は第92図に示す如き物であり全圧力は100屯位ある。

#### ii 松下航空、工作室備付の物

##### (1) 油圧機

第93図に示す如き構造を有する。此機は $300 \text{ kg/cm}^2$ の圧力を有し  
 圧縮力も相當大であるが、残念ながら最大衡程(ストローク)が小

さ過ぎ"340 耗しかない。

## (2) 手動式圧縮器

✓ 第94図に其の構造を示す。此は復行程は相當あるも圧力過小であるのは遺憾である。

## III 松下航空製作室設付物

### (1) 手動式圧縮器

✓ 前述の第94図の手動式圧縮器と大同小異でやはり圧力過小である。

### (2) 現用大型圧縮器

第95図に示す極めて強力なものである。全圧力3000 屯位であらう。

### (3) 中型油圧機 (目下建設中)

(1000 屯圧縮器は式フロペラ製作可能なる物)

## マ 高周波加熱装置

高周波加熱装置としては発振器に疎に結合せる二次同調回路を用ひた。その二次回路の主蓄電器の両端から導線にて加熱電極へ高周波を導く。使用波長は 40 m である。

## i 線輪

直径 $13\text{mm}$ 肉厚 $2\text{mm}$ 銅の円管を $23\text{cm}$ の直径に10回巻いた物である。テックスの台に取り付けられて巻枠はない。

## ii 同調蓄電器

$5\text{mm}$ 厚のアルミ板で作られ間隙 $37\text{mm}$ の廻轉式の変蓄電器又は直径 $200\text{mm}$ 厚さ $17\text{mm}$ のアルミ板を対向させ間隙を変なるとのを使用した。

## iii 導線

成るべく太い物が望ましいが幅 $20\text{mm}$ 厚 $4\text{mm}$ の平打銅線編組の物を用いた。

## iv 加熱電極

各々実験図面に示す如き寸法の物を用いた。種類としては(1)平板電極方式及び(2)中心電極方式を用い、此には空心電極、充実電極、円筒形多数線状型の物を用いた。

## 3 單板及び型

## i 單板

1mm厚のカバ材に石炭酸樹脂を含浸させ、豫め豫熱乾燥せる物を用いた。120mmのボス部分ば式用ボス部分のみの実験には長さ230mmの幅が順次異なる單板を大略180枚積重ねて実験した。中心電極方式の実験には該當部分を抜いた切り込み型單板を用いた。

## ii 型

### i) 金型

120mm用の試験用の金型を第96図に示す。現用の大型の金型は第128図に示す如き物で極めて長大な物で現在は之の金型製作が一番の隘路となつて居る。

### ii) 木型, 強化木の型

大体の型は夫々を使用した実験の図面の所に示されてゐる。

## 4 熱電対

温度上昇を測るのに熱電対を用いた。最初は銅コンスタンタンを用い

だが後には銅クロームを用いた。

高周波電界が掛つてゐる時は之の熱電対回路を切ると高周波電流が流れて危険であるから温度測定の都度高周波の発振を止め、素早く熱電対を電圧計に連ぎ測温した。熱の傳導が極めて悪い故時間的の遅れに依る温度誤差は無視出来る。

電圧計はオ=編オ=章オ=節 §21. 詳論せる物を用いた。

## §2 予備実験(ボス部分の加熱成型)

### 1 序

従来成型プロペラ製作に当り最も難点とせる處はボス部分の加熱であつた。故に基礎実験としては高周波を利用するに依り之のボス部分の加熱が如何に簡易化されるかを研究する事とした。而論實際のプロペラの製作に際しては非常な圧力で圧縮するのであるから高周波加熱と此れとを如何に組合すかが問題である。故に実験として先づオ=段として平板電極を用ひ高周波に依る肉厚部分の加熱の研究を成しオ=段として高周波で豫熱せるものの如く圧成型の研究を成しオ=段として加圧し乍ら

高周波を掛け得る中心電極方式の研究を行った次である。

## 2 平板電極に依る高周波加熱

最初是比较的低い圧縮器の圧力下に於ける高周波加熱の実験を行った。

1 金型に入れたる物の加熱

### (1) 目的

成型プロペラは多数の單板を圧縮して出来上る物で、加圧前は出来上り品に比べて随分部厚い物である。ホスの部分は出来上りが円形の断面となる故に初め圧力を掛けない内は楕円形をして居り、従つて出来上り品に寸法を合してある。上下の金型の間には間隙がある。此の間隙部分の外側に電極を置いて高周波がうまく此の間隙から金型の中へ通るかどうかを調べ見す。即ち此は現用の金型に於て加圧前に外枠を一時取り去り高周波を掛け次に加圧する方式の基礎実験である。

### (2) 電極配置

電極の持つて行き方としては大略次の如き物も考へられ

るが絶縁物が薄いとむしろ此の部分で高周波の勢力が消  
費される。又此の部分(絶縁物)を余り厚くすると金型の意味が無くなる。  
一般に圧力に耐える絶縁物が無い故此の方式には難点がある。

### (3) 実験結果

a) 第98図の第3 図の状態では第99図の如く5分間の高周波を  
5分間印加せば第100図の曲線Aの如き温度上昇となる。但し  
此等の温度測定穴は第101図に示す如き配置である。

b) 10分後の温度上昇は第100図の曲線Bの如くなる。

c) 第98図の第3の如き電極の配置では試料の加熱よりも  
むしろ周囲の木型枠の方が熱せられるので今度は第98図<sup>第2</sup>の如  
く電極を木型枠の内部に入れた。この電極配置で10分間(始めよ  
り高周波の掛かって居る時間の総和は20分)高周波4000Vを印  
加した。其の結果は第100図曲線Cとなる。

初めに高周波4000V印加して置いたが時間の経過に従って  
温度上昇と共に電圧も幾分上昇し4200Vになった。



△此の4200Vの高周波印加の状況で更に約10分間を放置して温度上昇を調べて見すが大して温度は上昇しなかつた。

✓ (第100図曲線D)

△其處で第98図の如き電極配置で電極板と試料との間に、アスベストを入れて外側の木枠は取り去り高周波7000Vの電圧を印加す。印加後10分で電圧は7500Vに上昇す。此の時の温度分布は第100図の曲線Eの如くなる。更に10分間放置すると電圧は7810Vに上り温度は順次上昇する。

#### (4) 考察

△此の電圧と時間の曲線から解る如く高周波を印加して温度が上昇して来ると損失が減少し、同調電圧が上昇して来る。又或一定の電圧では或一定の温度上昇に近づく。<sup>※99</sup> 図では破線(示す)即ち或電圧では入力と冷却とが平衡に達し所要の温度上昇が得られない。逆に云へば一定温度を得る爲にどうしても或一定以上の電圧を必要とする。金型があると電界がうまく入らず温度分布の偏差が

甚だしい。圧力を掛けぬ前と高周波を掛け圧力を加へた後の状態の変化を第102図に示す。圧力は70kg/cm<sup>2</sup>位であるが一応は強化木らしい物が出る。

ii 木型枠強化木製作使用に係るボス部分の加熱。

iii 木型実験

前述の実験に依り金型の枠があつては高周波加熱が思ふ様に出来ない。其處で金型の代りに木或いは強化木を用ひ、或程度圧力を掛けられる様にし又熱の放散も出来るだけ防ぐ方針で木型も、加熱する試料に或程度密着する様にして実験を進めた。第103図に示す如き電極配置に依り実験を行つた。木型を第104図に示す。此の方式で高周波を印加して加熱せる場合、第105図に示す如く高周波の電圧が低いと大して内部の温度は上らない。其の電圧より多少程上げると第106図に示す如く内部温度も急激に上昇する。又圧縮板と電極との間隙は20mmあつたが、木型も高周波に依り或程度加熱され其の結果水蒸気を発する為か急激に電

圧を上昇させると木型の面に沿ひ上面の圧縮板に対して沿面放電が起った。圧縮板は出来る限り電極板と隔した方がよい。次に木型の材質を変へ実験したか放電が起り難く充分なる温度上昇を得た。これを第107図第108図に示す。

## (2) 電極配置法

電極の資料に當る位置として第120図<sup>ね</sup>の如きものが考へられる。第120図<sup>ね</sup>の如き電極配置では試料の温度測定用の下部の熱電対が電極に向ひ放電を起すので、此の場合は熱電対を相當電極板より離さねばならない。又第120図<sup>ね</sup>の如き電極配置で実験を行つたが、此の方法は加熱には適して居るが試料を加圧する場合は電極板が上下より押へられる爲に圧力が段々強くなると電極板が變形してしまふ。又電極板が圧力の爲に木型に喰ひ込み其の部分が非常に加熱されて電圧の上昇と共に局部的な放電が起り遂には加熱が不可能となる。それを防ぐ意味で電極板を試料より相當小になしてプレスが押

切つた時に本型に電極板が着く程度にすれば放電が防げるが、電極板が小さい為試料に対して高周波の効果が少ない。

### (3) 強化木の枠

此等の電極配置で試料に充分な高周波は掛け得られるが、プレス加圧に充分耐へ得る様と思つて試作した強化木の本型は考へて居たより非常に高周波に弱く低い電圧で本型と電極との間で放電を起湯いので使用には適さなかつた。

此の時の温度上昇の様を才109図才110図に示す。何れも放電が起る為此れ以上の電圧は掛けられなかつた。

### 3 高周波豫熱 圧縮成型

#### 1 棒無し高周波豫熱

2/17 図で示した様な棒を取り除き只上下より絶縁物にて試料を押へて横より高周波を掛ける方法で実験を進めた。

木型棒も実際に思った程効果無く且つプレス機の圧力も太いので掛けないのであるから棒無しでも太い試料の形がくずれない。そこで高周波で先づ必要温度迄加熱して、温度が大抵其の温度に成つたら此を金型に入れ金型は豫め豫熱して置いて一度に圧縮する方法に就いて研究を進めた次である。

強化木は熱の傳導が悪い故に一度高周波で加熱して置けば、操作の時間中にそれ程温度が降る事が無い。併し余り單板と單板とか密着しない時は内外に熱の放散は大きい。故に高周波で加熱の際 或程度プレスを掛ける。一寸の加圧で大體一樣に密着し一応強化木とする事が出来る。横から高周波を掛ける場合の電極の形状は初めに試料を大體

★ し 同じ丸みを附けて相対させて高周波を掛けた。(オ/20図)<sup>オ4</sup>  
 し 併し此の電極の形では温度の偏差が多くオ/20図オ4に矢印  
 のある部分が発熱が大であった爲オ/20図<sup>オ</sup>の如く曲げて大  
 体良い成績を得た。

★ 此等の方法で試料を相當高温に上げてても次に金型は操作  
 の関係上余り高温にするのが出来ないので、折角試料を高  
 温にしても金型の爲に温度は下る。故に出来得る限り金型温  
 度を上げて置く必要がある。其の爲に金型の操作は出来る  
 限り便利に短時間に操作を爲し又半自動的に働かせる  
 様にするのが望ましい。

## II 金型なしの圧縮成型

✓ 金型がなくて圧縮されると如何になるかを見る爲の実験を  
 進めた。此の時の実験経過をオ/112図<sup>オ2115図</sup>に示す即ちオ/112図  
 ✓ に示す如き状態にて高周波を印加しオ/113図に示す如き  
 時間経過で電圧を加へた中央部の温度上昇の様子が同

時に示されてある。

各時間に於ける温度分布をオ114図オ115図に示す。

### III 金型圧縮成型

試料を高周波で豫熱したものを手早く金型に入れ圧縮する。

オ116図に示す実験は、松下の工作室にあるプレス機の行程が

小さい為、此の実験用の試料が時々プレス機の中に入らず30

分も手回取った。145°Cに中心が加熱された試料も30分掛

って入れたので100°C位に下った。

併し次のオ117図の実験には其の半分の所要時間で行

つたら僅か10°C位下ったのみである。此等の二段かまへの

方法も手早く操作すれば實際に應用出来る。但しオ112図

に示す如く余り高温に(135°C位)にならぬ内にプレスを加へ

過ぎると割れてしまふ恐れがある。

温度を夫々図に示す如き位置で測定した。

## 4 中心電極方式

### i 概説

平板電極で外部から高周波を掛ける方法ではどうしても加熱と加圧とが一段がまーになる現場の仕事は従来とは

変更せずに高周波を掛けて加熱し一挙に加圧したいと云ふ、

要望は切実なるものがある。此にすする一解決法が中心

電極方式である。即ちボラの部分の中心に電極を入れ、

此を一極とし金型を他の一極とするものである。

此に依れば現況を変える事なしに高周波加熱と蒸気加熱とが出る筈である。

此の場合内題となるのは

(a) アースの意旨如何？ 高周波がうまく掛かるか？

(b) 中心部が過熱される恐れはないか？

(c) フロペラとして中心部に金具があつてよいのか？

得  
他方大きな余熱として中心電極を中空として冷却水~~を~~流



す称にすれは冷却の時間を異常に短縮し得る見込のある事である。

## ii 18mmの中心電極

試料は前の実験と同一のものを中心に18mmのパイプを電極として入れて高周を掛けた。

図面第118図に示如く試料が楕円形の爲電極が丁度中心に入らず、上下の間隔が広くそれ故に横よりも上下の温度分布状態は値々値を示している。

## iii 25mm円管

今度は第119図の如き25mmの電極に変わって実験をした。

すると同一共振状態でも25mmの円管電極の方が高い電圧が出た。

其の爲温度の上昇も早く高温になった。

周囲の温度が低いと蒸気を併用すれば外部はすぐに蒸気の爲加熱されるからそれ程心配はない。18mm 25mm 円管

の実験、試料に加ったプレス圧力は  $30 \text{ kg/cm}^2$  位である。

### 5. 多線式円筒形中心電極方式

i 1.6 mm の銅線4本を中心導体として外部の金型を一極とした場合。

試料は前と同様の物を用いた。(第12.図第6参照)

此の場合高周波の電圧は掛かるが、中心の銅線が余り細過ぎず

其の爲め電極其のものが猛烈に熱を持ち、其の爲周囲の

試料が部分的発熱を成す。4本程度の心棒では余り良く

ない。

### ii 電極本数を増した場合

中心電極方式は優秀であるが、單板を切り抜かねばならず、

太さが電位傾度がゆるくなってしまうが、餘り太いとプレスで

自身として不都合である。高周波はどうせ表面部分に流れないのであるから円管でよいわけであるが此の円管を更に分割したと

考へて、單板の間にスリットを入れて行けばよいのであるから至極便利

である。此の考へのもとに  $1\text{mm}$  のニクロム線と  $40\text{mm}$  直径の円周上に多数円筒形に配置した電極が実験した。実験結果は極めて優秀で略一帯の温度分布も得た。<sup>(第120図参照)</sup> 圧縮後のま束上りと考へて楕円形にして実験したが此れ又望ましい結果を得た。第<sup>第121図</sup>120図の結果を示す。

### §3. 工業的実験

§2. に述べた基礎実験に依り充分確信が得られたので実際のフロペラを高周波を用いて製作に見た。頗る好成績を収め飛躍的に製作時間を短縮せしめ得た。

#### 1. 普通加熱法

ベニヤ  $1\text{mm}$  厚の單板に接着剤(バーフライト)を含浸せしめて多数積重ね加熱せしめから強力な圧力を加へると強化木が出来る。木製フロペラの製作の研究の初期に於ては角材の強化木を作り、此れよりフロペラを切り出す方針が進んで来た。此は加エ工作が

非常に困難なる片又資材の点でも難点がある。種々研究の結果始めから單板をプロペラの形に積み込む金型にて圧縮しながら加熱して、一度の過程で作り上げる事に最近成功した。然して此の際最も困難となる事はプロペラ各部で厚さが異なる故、各部分一様に加熱する事、一番厚いホス部分の内部まで一様に加熱する事等であり、血のにすむ様な努力の結果兎に角一応は出来る様になつたが、ホス部分の加熱に長大なる時間を要する事が一番難点とされてゐる。

此の一例をオ121図に示す。又断面での温度分布をオ122図に金型自身の温度分布等をオ123図に示す。オ124図は他の一例でありオ125図は各時刻に於ける温度分布である。如何に加熱に長時間を要するかわかる。

## 2. 平板電極方式、高周波加熱

此の實驗に適當するプレスが出来上つて居ないので不満足なから二段かまへの方法を取った。即ちプレスとは手動プレス

を用ひ、低い圧力で圧縮して置いて第126図に示す如き電極配置で高周波を掛け、充分温度が上昇してから此を急いで大型のプレスで金型に入れ蒸気加熱と併用に圧縮成型するものである。

### i 比較的電圧の低い高周波を加へさせる場合

実験結果を第126図に示す 平板電極は丁度ホスの部分の大きさのものを用ひた。

併して此の場合電極板より離れた奥のB<sub>0</sub>部分に相当の漏洩電界があり、かなりの温度上昇を来して居るのは誠に好都合であり注目に値する。

此の程度の豫熱でも従来の方法に比し時間を相当に短縮せしめ得る。

### ii 比較的電圧の高い場合

日を改めて更に同じ実験を進めた。第127図に結果を示す。高周波3000V20分間加へると大抵前の実験の際の

温度と同じ様な傾向になる。此を更に5分放置したが温度は大して上りない。

今度は高周波電圧を3900Vに上げると約10分にして所要温度の120°Cに上る。

此を見ても僅かの電圧差に依り温度上昇に顕著な差が表れる事が解る。

### 3 中心電極方式高周波加熱

#### 1 電極挿入方法

先づボスの部分の中心に25mm中の円管を入れた。其の爲に一度中心部にあたる單板を圧力を掛ける時の事を見越して1mm厚きの單板を5枚楕円形に切り取り、其の中心にパイプを入れた。此の單板の切り方で実物の3000モプレスに装置して加圧した所加圧程度はゲージで表はれない程度の圧力で試料。單板は割れてしまった。其、模様は第120図<sup>あり、あり</sup>の如くである。

單板の切り取り枚数が多、爲に割れた。(上下よりの圧力が始めに

試料金体に一様に掛かりず丁度中心の矢印の辺のみに掛かる  
 爲に圧力不均一となり、割れたものと思はれる。) 今度は丁度円管に  
 太さと同じに切取つた。25mmの円管が350kg/cm<sup>2</sup>の圧力で  
 つぶれた。其の際試料の單板は一枚も割れる事なく單板の切り  
 取り方に成功した次第である。

## ii 実物フロペラ成型高周波加熱(1本目)

以上のセロミ25mmの円管を入れ、図128図に示す如き金型装置で実  
 験を行った。

試料を入れる前に金型は40~46°C位に予熱させて置いた。図129図に  
 時間と圧力内部温度との関係を示す。7時間目に2800Vの高周  
 波電圧を10分印加した。温度分布を図130図に示す。

蒸気も始めから通して金型も加熱した。其の金型の温度分布の  
 概略は図131図に示す如く金型の上下では非常に温度差がある。  
 7時間目にやややうやく130°Cになった程度である。

3時間目に701Sを挿切り、7時間目に墊切を行って10時間半でや

うやく取出すのが出来たが従来に比し相当時間が短縮されて  
ゐる。豫期する程短縮出来なかつたのは冷却用の水管に蒸  
気が入り、普通の場合よりも冷却に時間を要したためで  
ある。

### iii 実物プロペラ牙二本目の実験

1時間45分後に高周波1200V 15分間印加した。又2時間  
17分後に1200V 10分間高周波を印加し、始めより2時間  
25分目に押切りを行い、4時間10分で熱切りを行った。

牙132図に示す如く熱切り後も温度が上昇した其の原因は圧  
縮装置が悪く蒸気が完全に止らず多くの蒸気が洩れてしま  
ひ、又冷却の水も出ず冷却には随分の時間を要した。此の実  
験では熱切り以後の実験値は無意味なる為記録を中止  
した。

本回高周波を分割して掛ける方法で実験を行ったがそれよ  
りも低い電圧で長時間高周波を印加する方法が良案かと思



はれる。オノ32図に温度分布をオノ33図に金型の温度分布を示す。

#### IV 実物フロッパオ三本目の実験

又5mm円管を中心電極として引き続き同一実験を行った。

今度は押切りの時間を短縮する意味で高周波を一時間目に

1400Vを15分印加した。

普通の場合には3時間半で押切りを行ふのであるが、高周波

で早く加熱したので2時間目に押切りを行った。熱切りを4時間

目に行へ一般蒸気の場合より3時間短縮した。

熱切り後も餘熱がある為内部の温度は上昇する。オノ34図は

其の内部温度分布の模様、プレス加圧の時間的变化の模様

を示す。オノ35図は試料を挟む金型の温度分布、オノ36図は温度

分布の断面図である。

#### V 実物フロッパ<sup>オ</sup>四本目の実験

此の実験は今迄の高周波加熱法を変へて最初から高周波を

掛ける方法、並びに中心電極の円管の代りにむくの25mmの物

を用いた。電極の先端は出来る限り丸めて放電を防止した。

高周波1200Vの電圧を印加した。実験の結果を才177図に示す。

図に示す如く1時間<sup>半</sup>目に加圧を開始した。ポンプの容量が小さいので所要の100kg/cm<sup>2</sup>迄になるのに1時間20分以上も掛って居る。

3時間30分で熱切りを行った。

其の後の冷却の方は水冷装置不完全の為自然冷却を行った。

#### 4 高周波成型プロペラの試験結果

高周波を印加して製作し製作時間を短縮せしめるものの内の一つを取り機械的の試験を行った結果を才8表に示す。

(才198図参照)

圧縮強度以外は全部試験に合格す。

圧縮強度の弱いのは松下の通幣で高周波の為ではない。

單板を切取った為密度が少し小さい。此は多電極法を採用せば解決される。

### 第三節 実験結果に対する考察

#### §1 所見

強化木の製作に高周波加熱が有望であり事は筆者の豫め豫期せる所であつたが、果し実験結果に徴するに頗る有効である事が明瞭となつた。そもそも物体を一定の所要温度迄の温度を上げには一定の勢力 (power) が必要である。此は全エネルギーの大小 (即ち  $kWh$ ) ではなるとに単位時間内のエネルギー ( $kW$ ) が問題なるのである。従つて温度上昇の実験は強力発振器で研究する必要がある。筆者の行へるよりも遙か小規模な室内実験が種々な觀察より行はれんといふ程に漸くが現下差し當りの問題はかゝるアカデミックの研究よりも如何にして高周波加熱を實際工業化し人類福祉に<sup>の増強</sup>直接寄與するのが一番の緊急問題であるを考へる。然し一応隘路を以て居る物は強力発振器の入手難にあるを云ふ。しかし此又眞の隘路とは云ひ難い。本邦に於て  $150kW$  の送信機は現用は供せられて居り何等

技術的に困難な問題でない。

問題は高周波勢力を加熱其他の方面に利用する事が有利である

と云ふ事に対する見通しが従来誰にもつかず、従つて思ひ切つた中

間工業的研究に資財を投じ得なかつた矣にあると思はれる。然

し今や実験に徴して、高周波加熱は頗る有望なりと諸君が認める

所まで立到つたと確信する。萬難を排しても高周波加熱の工業化を

一歩も早く計るべきであると考へる。何事も初めより完璧をねらふ事は

難しい。然し余り完全をねらつて居てはなへつて時期を失ふ恐がある。

不完全であつても一応の見通しがつけば推進主義に事を運ぶ事も必

要な事と思はれる。時局に経済的に有利と云ふ問題を飛び

越へ技術的に優秀である事を要望して居る。本問題も基

礎的方面に付ては未だ不満の点も多くあるも、とにかく最初は

採算を度外視しても大規模に工業的にやつて見る事が是非

必要と思はれる。

工業化に必要な資料は追々作つて行くと云ふやり方で進み

また、此が爲には窒物プロペラの製作可能な高周波加熱専用の中型圧縮機を大至急設置し製作と併行に工業化の研究を進める可きである。勿論波長決定の溶剤決定高周波の化学作用の確立等の基礎実験も実験室に於いて大いに進められる可きである。

## §2 技術的検討

### I 基礎実験より得たる結論

i 金型に入れたコ、金型の隙間を通じ外側より高周波を流す方法は余り良くない。

ii 強化木の枠は放電を起し易く候用不可、木枠の方が優る。

iii 枠無しで側面より電極のみで加熱する方法が一番温度上昇はよい温度分布を一定ならしめる爲には電極には一定の形を持つ必要がある。

iv 高周波で加熱し更に此をプレスに入れて圧縮する方法は最も有望である。

ホニニ。

V 中心電極方式は現在のプレス作業形態に何等変更を加へる  
るなしに実行出来る故便利である。

VI 多数織條式中心電極方式は成る有望であり、實際のプロ  
ペラに就いて実験して見る必要がある。

又 実物プロペラ製作より得たる結論

i 従来豫熱押切りに3時間半を要して居た物が2時間以内に短  
縮される。(高周波に係る加熱は10分位ですむが金型の豫熱  
に此程度の時間を要する)

ii 押切り後内部が温まり、反応が完了し、熱切りに到る迄に  
3時間半を要して居たものが2時間以内に短縮された。

(反応は非常に早く進むしきも、どの程度迄時間を短縮して良  
いか未だ確定せず。)

iii 冷却に要する時間は全然同じであるが中心電極方式は内  
部に水を通せば飛躍的に時間は短縮されると思ふ。

に余り高電圧を加<sup>へ</sup>ると放電が起る。少し低い電圧で加熱すべきである。10分の物が20分掛つたとしても大勢には影響がない。

### 3 成型フロペラの工業的製作に関する改良意見

#### i) 冷却時間の短縮

加熱時間を縮めるに劣らず大きい要素が冷却の問題である。冷却法の改善が一番先決問題であると思はれる。金型を改良し列へば"ボルト締(法)"とし、反応完了後は金型を冷却室に入れて冷却する。此で冷却の速度を上げる。加熱の方は高周波で非常に早く加熱出来る。

ii) 軟かまへを採用すると高周波に適する様金型を改良する。現在儘の金型では高周波をかける時ズレ外枠全体をずらすとかボスの部分ズレはす<sup>け</sup>れる様にする。高周波加熱後外枠を入れて強烈に加圧する。

#### iii) 多線型中心電極方式の採用

実物フロペラについて実験は行なはなかつたが、基礎実験より極めて優秀なる<sup>の</sup>が認められる故、今後之の方法で進むべきである。

#### 4. 強力電振器の設計の基準

15式鍊フコペラ10台を一台の圧縮器で一時に成型するとして、  
此に必要な高周波電振器を設計するとせば次の通りである。  
§2の所論に依りて次の如き結論を得る。

I 一台の電振器の高周波出力50kWは長100mを差し当て設計標準とする。

II 電源装置には少なくとも整流管装置を用ゐる。整流装置の概略の設計は一見可なり如く電振管の鉄條に正電圧のかゝる半サイクルは電振器は動作せず、即ち電振管は $\frac{1}{2}$ しか動作しない。但し動作する半サイクルに於ても電圧は正弦波状に変化する故に $\frac{1}{2}$ しか出力が出ない。  
故に一定の出力を得るためには少なくとも2.81倍の容量の電圧器及び電振管を要する。大容量の電振器に於ては資材價格の点より見ると10Sか12S以上の容量の電圧器電振管を設けるより整流管2個電流管2個電圧器2個を設ける方が得るものと考えられる。

III 電振管は上下に揚ぐもの又はと動体物の内より何れにても



197  
各にのり易きものを選定する。

UN1671 (入力24KW)

SN207 (入力25KW)

UV175 (入力12KW)

1V 整流管はHV957若しくはHV915B又は此と

類似のものを用いる。

## 第四編 結 論

以上三編が三編に於て記述せる所の所論の要點並に  
に本研究に依り明確にされたる結論を列記せば次の如し。

- 1 強力高周波試験装置を完成し試験法を確立す。
- 2 充電型高周波電圧計を完成す。波長3米迄校正を行い充分使  
用し得る事を確認す又実用上に便なる誘電的電圧計を完成す。
- 3 リアクトルに変化法を応用せる高電圧下の誘電特性の測定法  
を完成し熱劣化現象を明確ならしめた。
- 4 各種液体絶縁物の高周波破壊電圧値を求めた。
- 5 液体の破壊は熱破壊の理論によく従ふ事を実験的に確  
證し其の放電形式が低周波の場合と異なる事を詳細に指  
摘した。
- 6 液体の高周波電場による湿度上昇に關し実験を行い熱劣化  
と熱破壊との關係を明確ならしめ又従来熱量計法にて  
不元分の事ある事を指摘した。

7. 高周波の高電圧下に於ては固体絶縁物はコロナ破壊熱劣化熱破壊の何れかに依つて損傷を受ける。

8. 高周波コロナが発生すれば如何なる材料も破損してしまふ、  
・ 故此の対策を必要とする事を指摘した。

9. 熱劣化は極めて優秀なる材料以外のもに就いて現はれて来る現象であり高周波に於ける破壊の大多數を占める。

10. 熱劣化は誘電体損に依る発熱の爲に内部の温度が異常に上昇して其の材質の耐へ得る極限值を越す爲に起る現象  
・ であり従來の所謂熱破壊は特殊の材料に就いてのみ起る現象である。

11. 熱劣化の進行状態を詳細に実際に温度分布の状態を求めた。

12. コロナ破壊熱破壊熱劣化の電圧を各種材料に就き求めた。

13. 電場分布一様なりと假定して温度分布を求め熱破壊と熱劣化の関係を理論的に明確ならしめた。

14. 現用饋電線の高周波耐圧を明確にし耐圧向上の爲の策

を明示した

15 筆者はかねて充実型饋電線を提唱して居たが其の後近

時内外に表れたる試料に就き其の試験結果を述べた。

16 放電防止塗料の効果を明確にした

17 強力高周波の特殊応用は差し當り発熱に有りと言へ其の

特異加熱作用の機構を吟味し基礎実験を行ひ此を

検討した。

18 従來の過れる「選擇発熱」なる觀念を是正し等質交流コン

ダクタンスで論ずべき事を明にした。最大発熱の原理を求

めた。

→ 19 木製飛行機<sup>等</sup>の實際の製品に於ける高周波加熱の応用  
を論じた

20 最後に高周波に依り成型プロペラの製作時間が飛躍

的に短縮される事を指摘し此の工業化に成功した。

## 謝 辭

筆者は卒業論文「高周波絶縁材料」を恩師本野敏教授の指導の下に研鑽した。此が動機となり卒業後も同教授の推薦に依り職を電気試験所氷五部(材料部)に奉ずる事となり専ら高周波絶縁材料の研究に従事する事となった。

爾後終始變らぬに指導の鞭撻を戴きつゝある次第であり筆者をして高周波絶縁材料の道に勤む様に指導戴いた恩師に深く感謝すると共に「高周波絶縁材料」に因りてより良き報告書を書き度いと云ふ筆者日頃の念願から高周波誘電特性に関する研究の一部として此の貧しい研究報告書を恩師に献ずる物である。誘電体の高周波高電圧現象の研究は頗る莫大なる費用と長大なる時日を要するにかゝわらず終始充分なる理解を戴き浅学非才の筆者をして本邦としては劃期的な装置を完成せしめられ専心研究に没頭するのを得せしめられ前氷五部長貞清博士に深甚なる

謝意を表すると共に魯鈍なる筆者を大いに鞭撻下され基礎的研究並びに工業化に就いては指導を仰ぎつゝある電気試験所長駒形博士に満腔の敬意を表する次第である。本研究の題目の前擔任者小川部長殿からは入所以來終始変らず親身にも及ばぬ厚意を忝けなくし技術的討論を戴いたのを深く感謝す。筆者入所以來早や九星霜が夢の内に流れて居る。昭和15年春実験開始以來筆者の良き共同実験者としては協力を戴いた方々の名を記し感謝の意を表したい。東、天野、坂、五十嵐、荒木、龜井、高橋。本文を草するに當りは助力をわすれず超短波研究室の各位に深く感謝す。

文 献

1. 鯨 井 電學誌 35, 699, (大4)
2. 楠 瀬 電試所 192号 (昭2)
3. 小 川 信話誌 152号 233 (昭10); 電友 70  
360 (昭9)
4. 島山, 篠原, 市羽 電學誌 55, 765 (昭10); 56, 372 (昭11)
5. 上野, 津田 電氣通信學會 20周年紀念大會予稿 第一輯 106 (昭12)
6. 大 脇 電學誌 59, 609 (昭14)  
電學誌 58, 576 (昭13)
7. 岡部, 瀬谷 電學誌 58, 1038 (昭13)
8. 岡 崎 17 联大 No. 16, (昭15-11)  
電學誌 61, 28 (昭16)  
19 联大 No. 18-3 (昭16-9)  
電試案 5, 351 (昭16);  
電試五十周年紀念論文 172 (昭16);  
19 联大 No. 2-17 (昭16-9); 電友 85, 514 (昭16)  
22 联大 No. 22 (昭18-4);  
學振報告 No. 1-10 (昭16-18);  
電學誌 63, 196 (昭18); 電學誌 63, 407 (昭18)  
電學誌 63, 417 (昭18); 電學誌 63, 610 (昭18)  
電誌彙 7, 261 (昭18)  
電誌彙 7, 407 (昭18)
9. 正 木 正木, 東, E. T. Z. 61, 577, 1940  
正木, 坂, Arch. f. Elek. 13, 366, 1924.  
Diss. Jena. 1924.
10. Rohde, Wedemeyer. Arch. f. Elek. 13, 189, 1924.
11. Dräger E & M 42, 757, 1924.
12. Sorge Arch. f. Elek. 21, 169, 1928.
13. Vacher Phys. Z. 34, 497, 1933.
14. Schlegelmilch A. I. E. E. 41, 1034, 1922.
15. Wagner

- |     |                   |   |
|-----|-------------------|---|
| 16. | Gränewald         | Arch. f. Elek. 12, 77, 1923   |
| 17. | Voger             | A. I. E. E. 43, 625, 1924.  |
| 18. | Montsinger        | A. I. E. E. 43, 145, 1924.  |
| 19. | Gosweler          | Arch. f. Elek. 14, 491, 1925  |
| 20. | Dieterle          | E. T. Z. 46, 329, 1925  |
| 21. | Inge & Walther    | Arch. f. Elek. 21, 209, 1928  |
| 22. | Hill              | El. J. 31, 277, 1934.   |
| 23. | Wagner & Gemanst  | S-B. Preuss. Akad. Wiss<br>Phys-Math., VI, 1934, IX.<br>Diss T. H. Berlin 1934. |
| 24. | Perlick           | Arch. f. Elek. 30, 411, 1936  |
| 25. | Böcker            | Elect. 123, 453, 1939.  |
| 26. | Mabb              | E. T. Z. 61, 1161, 1188, 1940.  |
| 27. | Rohde & Wedemeyer | E. E. 59, 129, 1940.  |
| 28. | Alford & Pickles. | El. Com. 18, 135, 1939.   |



第1表 (厚サ 3.75 mm, 波長 7.5 m)

No 成分	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	FeO <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>3</sub>	球間隙	球対針
1	60	6.5	30	—	—	—	6,000V 不変	4,000V コロナ
2	55	—	30	3	—	—	"	2,600V コロナ
3	60	5	30	—	2	—	"	2,800V コロナ
5	55	2	25	—	—	5	4,000V 貫通	—
7	60	5	25	—	—	—	6,000V 不変	2,900V コロナ
9	60	3	30	—	5	—	"	2,800V コロナ

第2表 コロナ発生電圧(波長30m球電極 30mmφ)

ガラス 種類	厚.サ (mm)	空気中 (V)	キジロール 液体中 (V)	パラフィンブロック 使用の場合(V)
ソーダガラス	1.67	1,900	2,800	
〃	2.05	2,200	3,200	
〃	2.06	2,000	3,500	4,800
送信管用ガラス	1.05	1,800	2,200	
〃 (S2505)	1.06	1,800	2,300	
〃	1.4	1,700		2,800
〃	1.3	950		
白熱電球ガラス	1.0	1,200		2,850
〃	0.5	850		
ネオンランプガラス	0.9	850		
高周波用ガラス	4.25	2,300		

第3表

試料名	厚さ (mm)	電極の 大きさ (mm)	波長 (m)	劣化電圧 (V)	コロナ 発生電圧 (V)	熱電気 破壊	備考
チッソロイド	0.5	36円板	40	<4,100			
	"	"	"	<3,950			
	0.2	8球	7.5	900		1,400	透明品
	"	"	"	500		900	橙色品
	2.0	"	"	1,400	2,000		乳白色品
	"	"	"	.	4,500		黒色品
チッソライト	0.5	8球	7.5	1,400	2,700		
	1.0	"	"			3,000	
	6.0	"	"		3,200		
有機ガラス	5.0	8球	7.5	<6,000			
	"	30円板	40	<2,850			
	"	"	"	3,000	3,100		
セロガラス	5.0	30円板	40	3,000	3,760		
	"	8球	"	2,800	2,800		
	"	"	7.5			1,100	
	"	10円板	"			7,000	
ファイバー	1.8	36円板	40	1,500			
	"	8球	"		2,560		
	2.0	"	7.5	1,100			
エポライト	1.0	30円板	40	1,700			優良品
	2.0	"	"	2,000			"
	3.0	"	"	3,600			"
	5.0	"	"	2,100			並品
	10.0	"	"	8,050			"
	1.0	20円板	"			2,500	優良品

第4表

試料名	厚サ (mm)	電極の 大きさ (mm)	波長 (m)	劣化電圧 (V)	コロナ 発生電圧 (V)	熱電気 破壊	備考
エボナイト	2.0	20球	40		3.800		優良品
	"	8球	7.5	5.000			
	10.0	"	"	6.000			
ベークライト	1.1	30円板	40	<4.200			優良品
	3.1	"	"	3.950			"
	5.5	"	"	2.300	2.370		並品
	8.5	"	"	<2.800		2.820	"
	1.8	8球	7.5		3.000		
	2.0	"	"	3.000			
ポリスチロール	5.0	50円板	30		2.600		優良品
	4.0	35円板	40	3.000			並品
	5.0	8球	7.5	>8.000			優良品
	"	"	"	"			"
	"	"	"	7.000			並品
フレスパン	1.0	8球	7.5	>8.00			
	10.0	"	"		7.500		
エバクアクス	10.0	35球	40	6.00			
ステアライト	4.0	30円板	40		3.200		
	5.0	50円板	30		2.000		
碑子	3.5	30円板	40			4.230	
チタノ磁器	3.0	25球	40		2.800	4.000	
	"	36円板	"	3.300			
雲母	0.5	20球	40		1.600		
	1.0	"	"		2.100		
	"	30円板	"		3.650		
	"	8球	7.5			3.200	
テレックス	4.5	50円板	30		2.600		

試料名	厚サ (mm)	電極の大きさ (mm)	波長 (m)	劣化電圧 (V)	コト発生 電圧 (V)	熱電気 破壊	備考
ガラス	0.3	8球	7.5		2,700 ~ 3,200		

備考 劣化電圧：試料に或電圧を印加した場合10分間以内に顯著なる熱劣化現象を起す電圧を指す

く：3分以内に劣化現象が起る場合を指す

熱電気破壊電圧：毎分500V.當り連續に印加電圧を上昇する場合に放電に依る貫通現象の起る電圧を指す。

第5表 (波長 30 m)

	中心導体	絶縁物	外側導体	導体 外径 (mm)	高周波 破壊電圧 (V)	備考
1	1.2 mm 銅單線	スチライト 釣鐘狀 成型 外径 9 mm	銅テープを 巻いたもの	19	2,000	
2	5 mm 銅單線			"	4,800	
3	7 mm Alミ單線			"	4,400	
4	10 mm 銅燃合導体	特殊耐熱合成 樹脂 外径 8 mm	銅テープ1枚 にて包玉	35	3,600	
5	1.8 mm 銅燃線		"	10	1,400	
6	1.6 mm 銅燃線二心		銅線編組	11	2,200	
7	1.6 mm 銅燃線四心	スチライト 釣鐘狀 成型 外径 11 mm	"	"	1,800	
8	5 mm 平行二線	スチライト	銅テープ	35	6,700	線間 15 mm
9	5 mm 平行二線	有機ガラス	"	"	2,900 ~4,000	"
10	0.2 mm 19本燃り	ステアタイト	銅線編組	11.2	1,700	50V 耐圧 10,000 V
11	11 mm 銅燃合	"	銅テープ	35	2,300	50V 耐圧 7,400 V
12	0.7 mm 3本燃り	スチライト	銅線編組	25	1,200	

	中心導体	絶縁物	外側導体	単体径 (mm)	高周波 耐圧 (V)	備考
13	11 mm 銅撚合導体	ステアタイト	鉛被銅テープ 螺旋状	4.5	2850	50%耐圧 8,600V
14	10 mm 銅撚合導体	絹糸支持	銅平角テープを 巻きたるもの 外側鉛被	3.5	5,750	
15	5 mm 銅パイプ	"	"	18	4,250	
16	3 mm 銅扇形	"	螺旋状に平 角銅テープを 巻きたるもの	15	2,750	
17	0.4x17本 銅線	"	銅線編組	17	"	
18	高周波ニ入 ケーブル	"	"	20	1,700	1回線耐圧 内外導体間隙 3mm
19	22mm扇形 銅テープ熱合	"	純鉛被	76	6,300	
20	4 mm 軟銅線	テフロン絶縁体	螺旋状平角 アルミテープ	14.5	1,400	
21	4 mm 軟銅線	"	アルミ板押へ巻 0.1mm/枚	"	"	
22	22 mm 銅管	円板テフロン	銅板	75	7,500	

## 第 6 表 の 1

電圧———/400V (70V ト 電圧 3000V)

圧縮時間———10 分間

試験片——— $\pi$  い い まかんば圧縮力———10 kg/cm<sup>2</sup>

(イ) まかんば材 石炭酸系合成樹脂

幅(mm)	長(mm)	面積(cm <sup>2</sup> )	荷重(Kg)	強度(Kg/cm <sup>2</sup> )	木部	膠着
29.5	40.7	12.06	300	24.99	0	100
29.8	41.0	12.22	2400	196.34	0	100
30.0	40.5	12.15	2080	171.19	40	60
30.2	40.8	12.32	360	29.22	0	100
29.7	40.0	11.88	800	67.34	0	100
30.0	40.0	12.00	700	58.33	0	100

(ロ) 台檜 石炭酸系合成樹脂

幅(mm)	長(mm)	面積(cm <sup>2</sup> )	荷重(Kg)	強度(Kg/cm <sup>2</sup> )	木部	膠着
29.8	40.4	12.04	920	59.81	90	10
29.8	40.0	11.96	940	76.60	90	10
29.8	40.2	11.98	1020	85.14	80	20
30.0	40.3	12.09	900	74.44	90	10
30.0	39.7	11.91	760	63.81	85	15

圧縮方法不良 = テ 眞, 結果トハ 考ヘラレズ



## 第 6 表 の 2

電圧 ----- 1400V (10分 ~ 16分) 3500V (16分 ~ 20分)  
 圧縮時間 ----- 20分  
 試験片 ----- 前 = 全ジ  
 圧縮力 ----- 10 Kg/cm<sup>2</sup>

## (イ) 台檜 石炭酸系合成樹脂

幅(mm)	長(mm)	面積(cm <sup>2</sup> )	荷重(Kg)	強度(Kg/cm <sup>2</sup> )	木部	膠着
30.0	41.0	12.30	1360	29.27	0	100
30.0	40.8	12.24	1100	89.87	90	10
29.9	40.8	12.20	1020	53.61	10	90

## (ロ) 台檜 (リ) 接着剤

幅(mm)	長(mm)	面積(cm <sup>2</sup> )	荷重(Kg)	強度(Kg/cm <sup>2</sup> )	木部	膠着
29.8	39.6	11.80	1040	88.14	60	40
29.9	39.6	11.84	980	82.77	100	0
36.0	39.5	11.80	1260	106.78	10	90

## (ハ) まかんば (リ) 接着剤

幅(mm)	長(mm)	面積(cm <sup>2</sup> )	荷重(Kg)	強度(Kg/cm <sup>2</sup> )	木部	膠着
29.6	40.0	11.84	1840	163.85	100	0
29.6	40.0	11.84	1760	148.65	95	5

## (ニ) まかんば 石炭酸系合成樹脂

幅(mm)	長(mm)	面積(cm <sup>2</sup> )	荷重(Kg)	強度(Kg/cm <sup>2</sup> )	木部	膠着
30.0	40.2	12.06	2380	197.35	0	100
29.7	40.2	11.94	2180	182.60	100	0
29.8	40.6	12.10	2400	198.36	0	100

## 第 6 表 の 3

電 圧 ----- 2250V (プレート電圧 4000V)

圧縮時間(分)	0	3	6	8	10	12	15
電 流( $\mu$ A)	30	65	65	85	95	95	95
加熱温度( $^{\circ}$ C)	45	80	100	110	110	110	

(イ) まかんば" ヲリ 接着剤

幅(mm)	長(mm)	面積( $\text{cm}^2$ )	荷重(Kg)	強度( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	木部	接着
29.7	40.1	11.92	2340	196.31	70	30
29.6	40.3	11.93	1500	125.74	70	30
29.8	40.1	11.95	1980	165.34	60	40

(ロ) まかんば" 石炭酸系合成樹脂

幅(mm)	長(mm)	面積( $\text{cm}^2$ )	荷重(Kg)	強度( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	木部	接着
29.7	40.0	11.88	1760	148.15	0	100
30.0	40.1	12.03	560	46.55	0	100
30.1	40.1	12.01	710	58.82	0	100

(ハ)

幅(mm)	長(mm)	面積( $\text{cm}^2$ )	荷重(Kg)	強度( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	木部	接着
29.8	40.0	11.92	610	51.17	60	40
30.0	40.0	12.00	560	46.67	75	25

第 7 表 (第90図参照)

試験片 ----- まかんば  
 圧 締 ----- 電極ニテ支ヘン程度但ニ接着ヲ用ヒズ  
 温度 °C

構成	電圧(V)	時間(分)	(イ)	(ロ)	(ハ)	(ニ)	(ホ)	(ヘ)	(ト)	(チ)	(リ)
H型	2300	3	25	31		41		28	25		
"	"	5	27	34		42		30	27		
"	"	10	30	33		53		47	30		
"	"	15	"	34		55		50	"		
	4300	5	34	59		90		56	34		
	5400	"	35	92	103	107	100	92	55		
π型	3400	"	50	62	56		58	64	50		
ππ型	4000	"	47	60	65		65	61	55		
πT型	4000	"	60	64	57		62	66	55	50	53
ゴム板	4500	"	111	120	115	111	110				
(71型)	6850	7		80	182	165					
木材中 導 体 (11型)	5000	4	72	110	75						
木材ミ	5000	"	73	105	71						

ゴム板 ----- ゴム袋圧締用ノモ  
 木材中導体 ----- 圧締用釘ヲ用フ

## 第 8 表 (第 138 図参照)

## Section 0

0-1	衝撃 130.7	" 26.8 口	衝撃 木一	" 一 へ
	" 130.5	" 26.4 =	" 136.9	" 30.1 子

0-3	耐水 1 可	含水 7.60	吸水 15.97	比重 1.380	" 1.396	含水 8.57	耐水 可 1	含水 8.34	比重 1.393	吸水 15.80	含水 8.42	耐水 木
	" 可	" 8.00	" 16.17	" 1.380	" 1.396	" 8.13	" 可 =	" 8.22	" 1.393	" 16.40	" 8.19	" へ

0-7	接 1	剪 1	接 口	剪 口	接 1	剪 1	接 二	剪 二
	359	455	333	469	335	460	二	二

圧 1	圧 口	圧 1	圧 二	圧 木	圧 へ	圧 1	圧 子
1520	1490	1455	1580	1550	1505	1500	1510

## 引張試験片

規格

0-17	2400	2550	2900	3170	2755
------	------	------	------	------	------

0-18	2750	2750	2700	2700	2725
------	------	------	------	------	------

0-15	268	197	191	282	267	278	247
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

0-16	311	286	268	236	270	267	273
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

## Section 0

規格

0-②	曲 5" 試 片						2670
	2780		2560				

0-④	接着試片 338 イ	" 322 ロ	" 323 ハ	" 317 ニ	" 283 ホ	" 345 ヘ	" — ト	" — チ	321
-----	------------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------	-------------	-----

0-⑤	引張試片 2550 イ	" — ハ	" 2620 ロ	" — ニ	引張試片 2700 ホ	" — ト	" 2700 ヘ	" — チ
	3320		3320		3320		3320	

0-⑥	剪断試片 イ	" 421 ロ	" 462 ハ	" 426 ニ	" 462 ホ	" 452 ヘ	" 446 ト	" — チ
-----	-----------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

0-⑧	硬度試片 イ	" ロ	" ハ	" ニ	" ホ	" ヘ
-----	-----------	--------	--------	--------	--------	--------

0-⑨	曲 5" 試 片						2865
	2830		2900				

0-⑩	圧縮試片 イ	" 1530 ロ	" 1470 ハ	" 1510 ニ	" 1505 ホ	" 1435 ヘ	" 1465 ト	" 1505 チ	1479
-----	-----------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	------

0-⑪	曲 5" 試 片						2715
	2920		2510				

0-⑬	耐水 イ可	含水 8.52	吸水 3.28	比重 1.391	" 1.398	含水 8.52	耐水 ハ可	含水 8.48	比重 1.389	" 1.383	吸水 13.47	含水 8.25	耐水 ホ可	34070(吸水)
	"ロ可	8.57	3.47	1	ロ =8.60	" =可	ハ可	8.10	ハ =	" =3.39	" =	" 8.33	ホ ヘ	1385
														8.42%(含水)

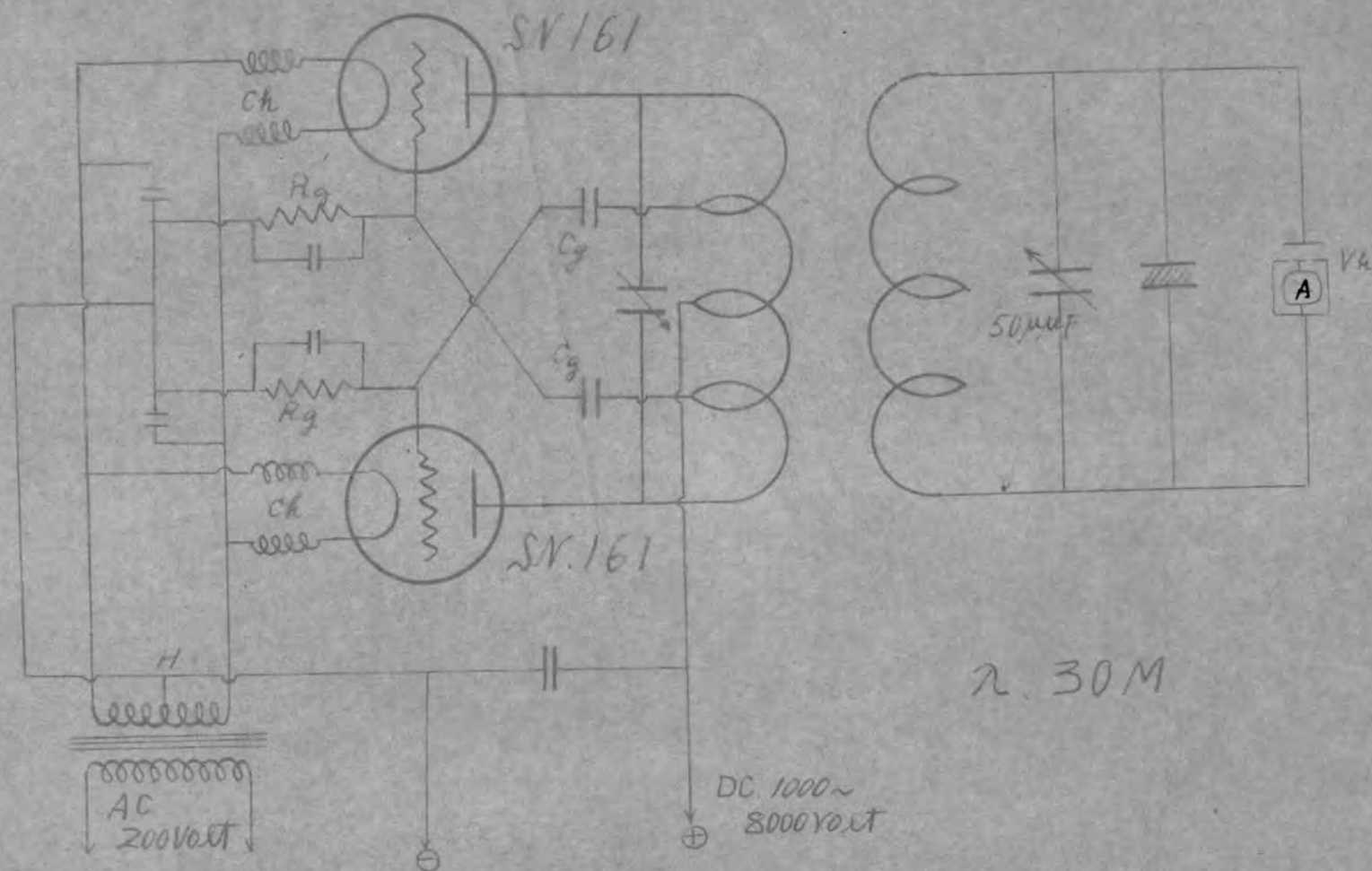
0-⑭	衝撃 イ	31.8	" ロ	26.8	衝撃 ホ	—	" ヘ	30.9
	"	128.2	" ニ	28.9	" ト	31.8	" チ	

誘電體の  
高周波高電圧現象  
に関する研究

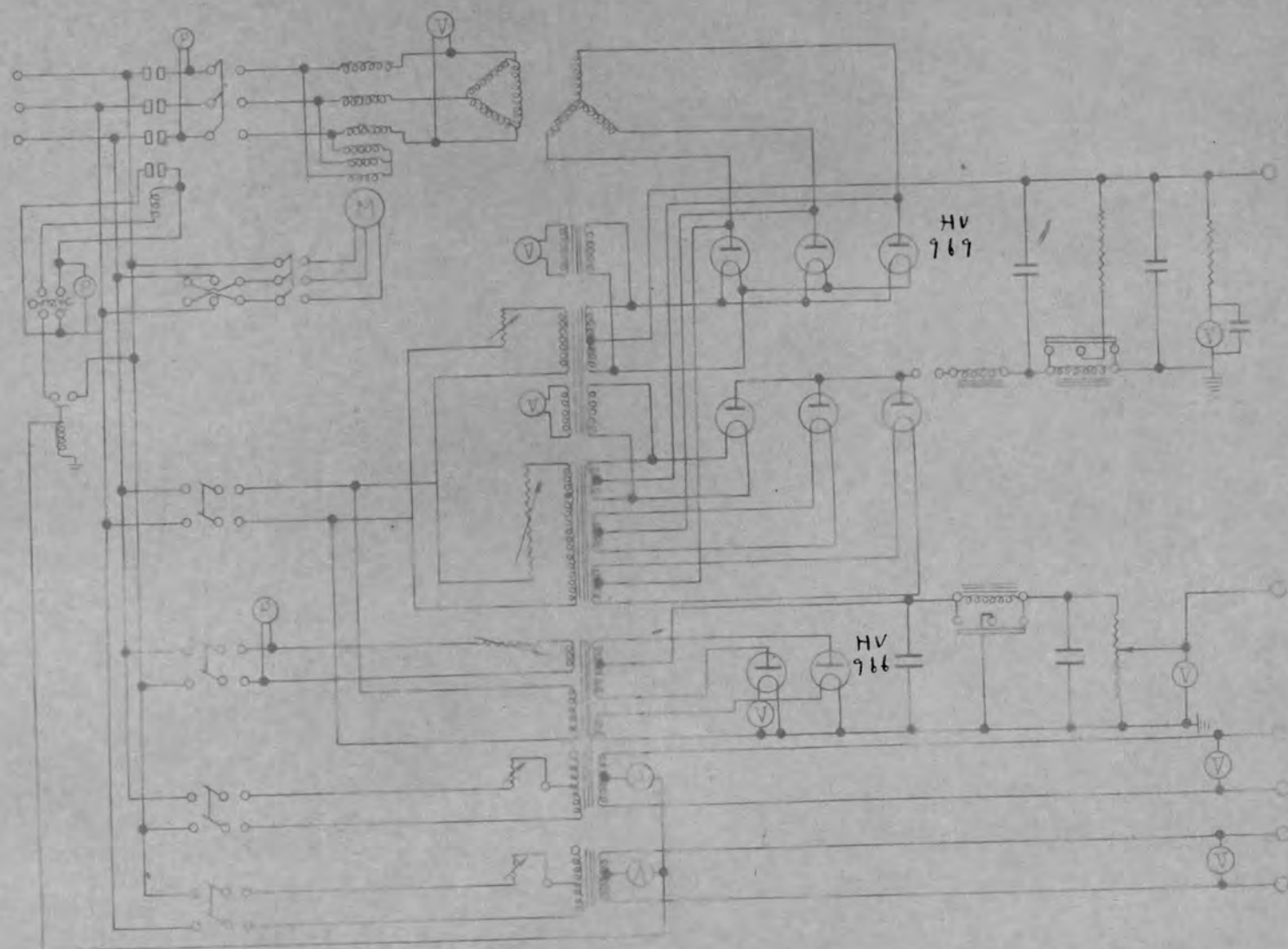
電氣試験所技師  
正木知己

# 高周波発振回路

P. —

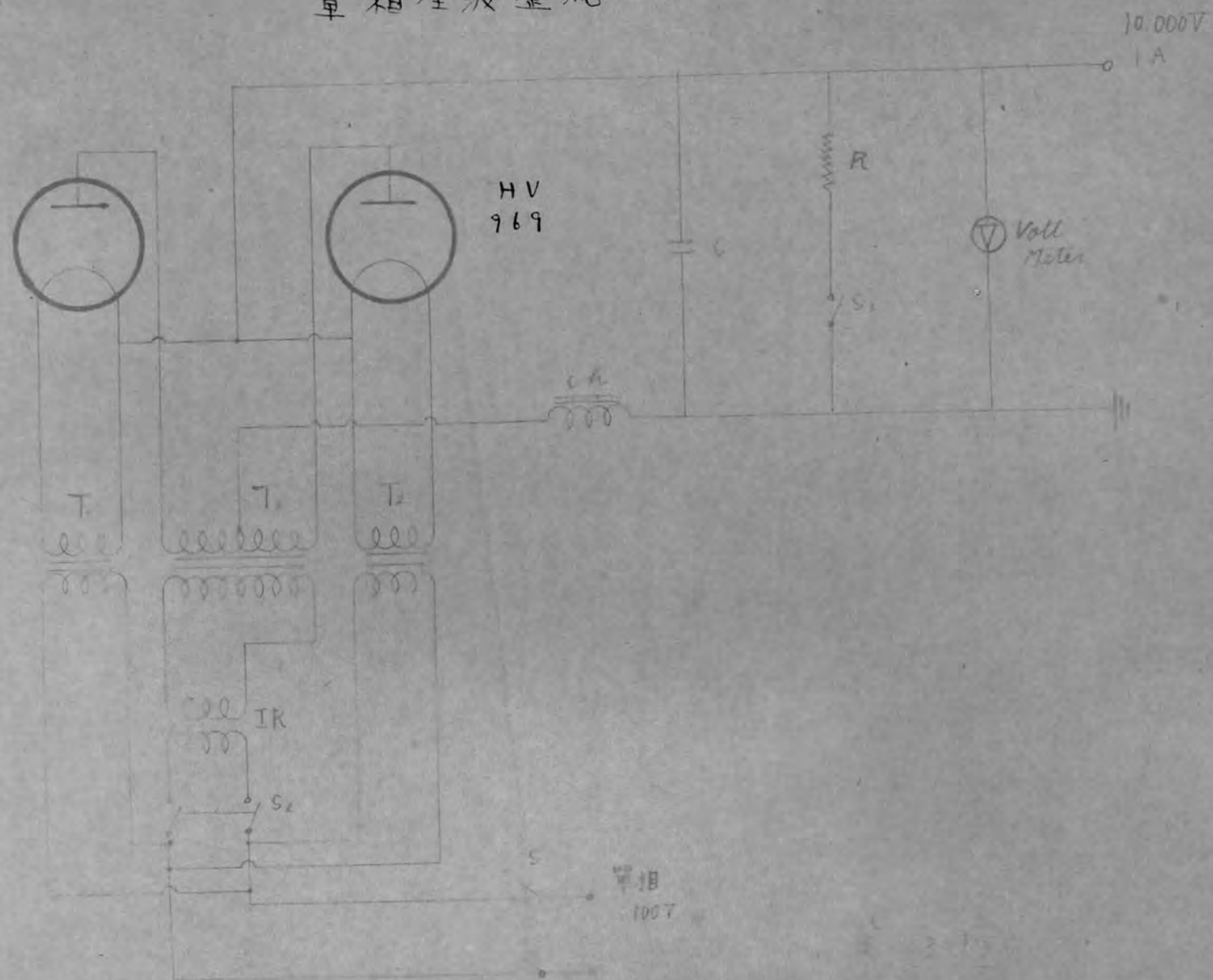


# 三相全波整流回路



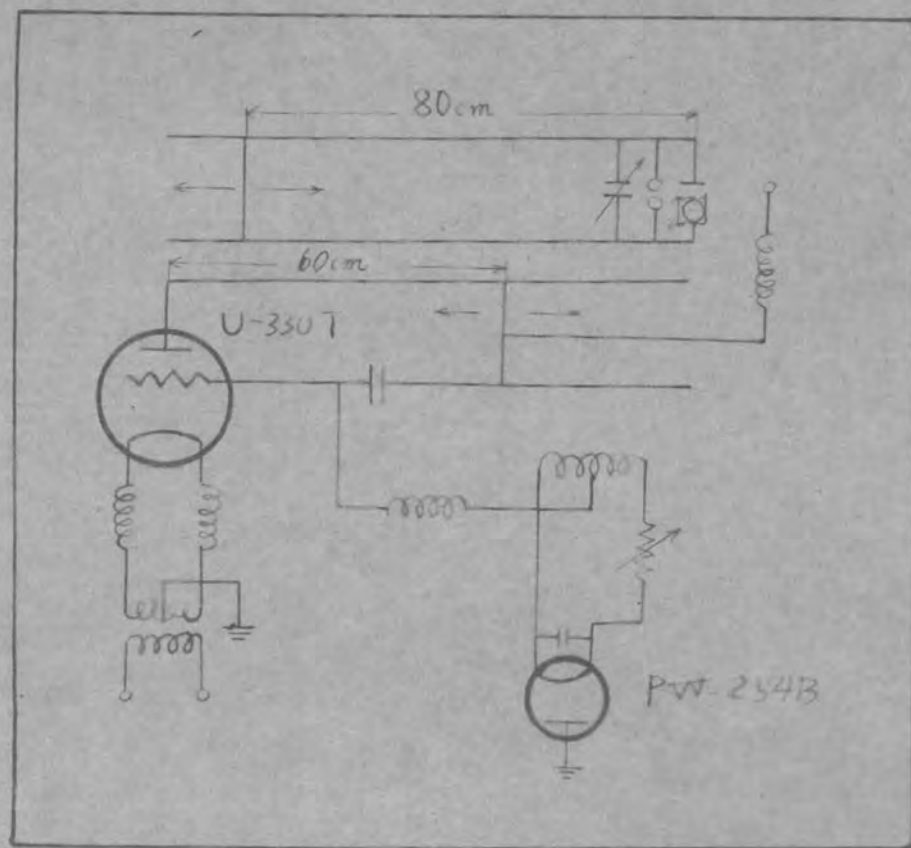


# 單相全波整流回路



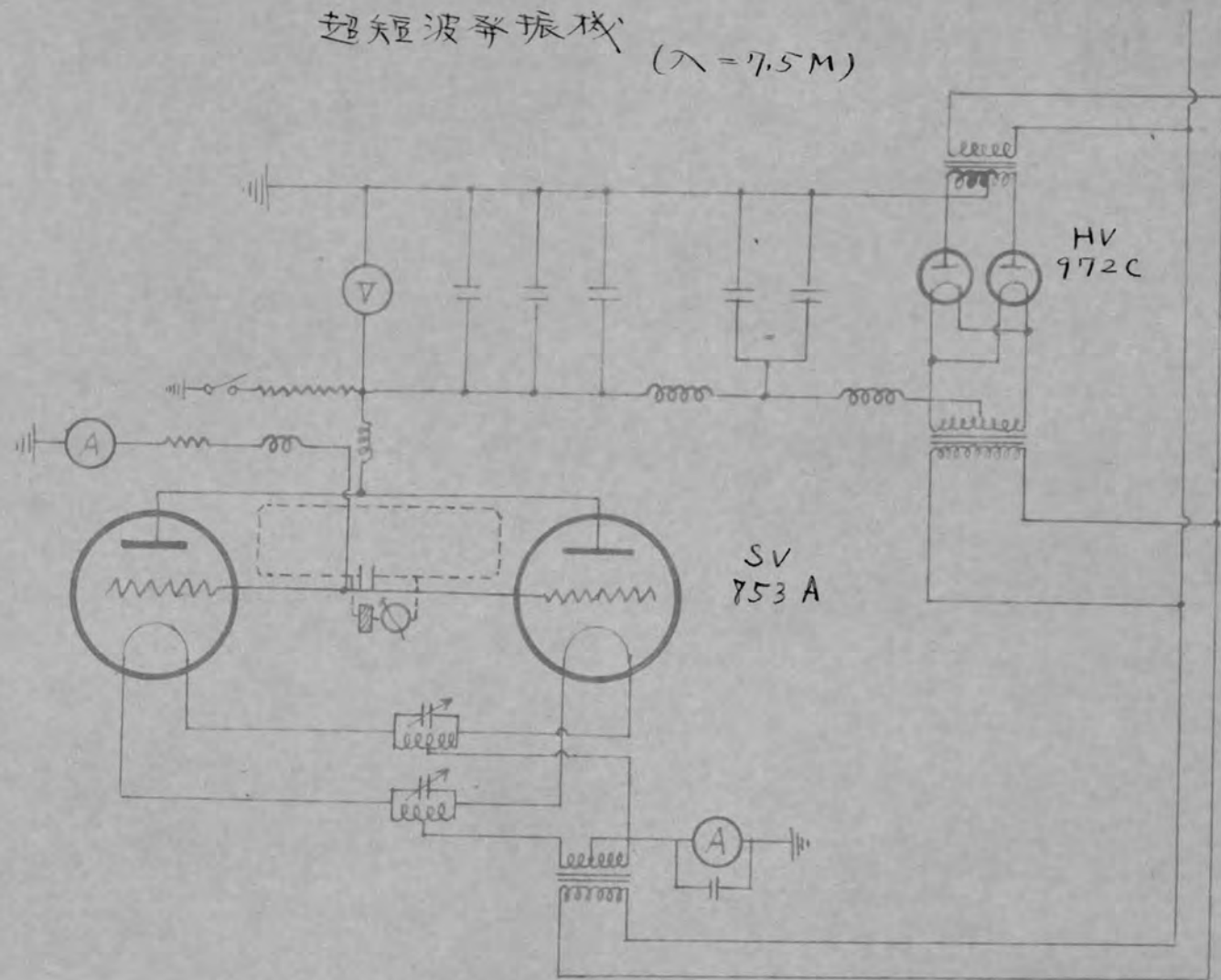
第 3 圖

超短波振荡机  $(\lambda = 6M)$



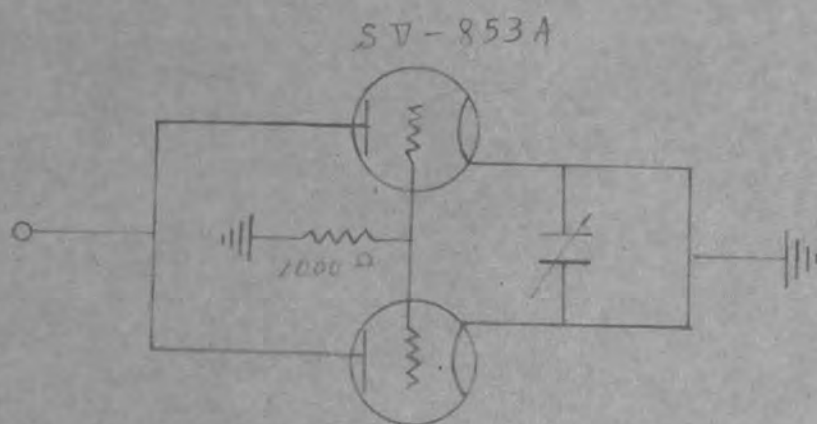
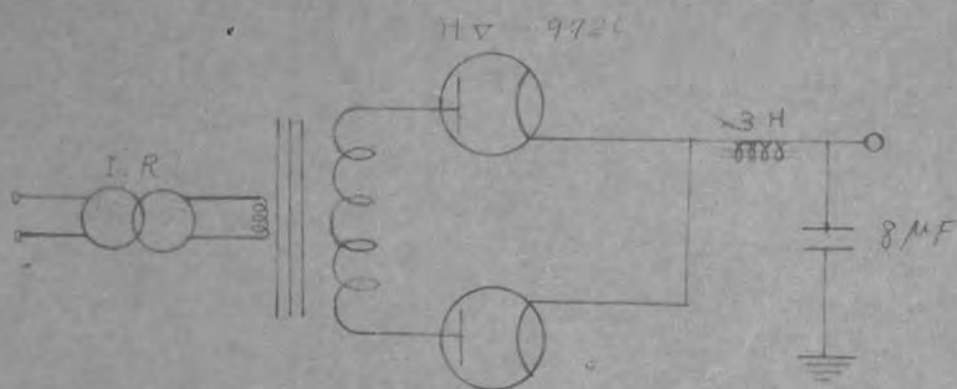
第 4 图

超短波等振板 (λ = 7.5 M)

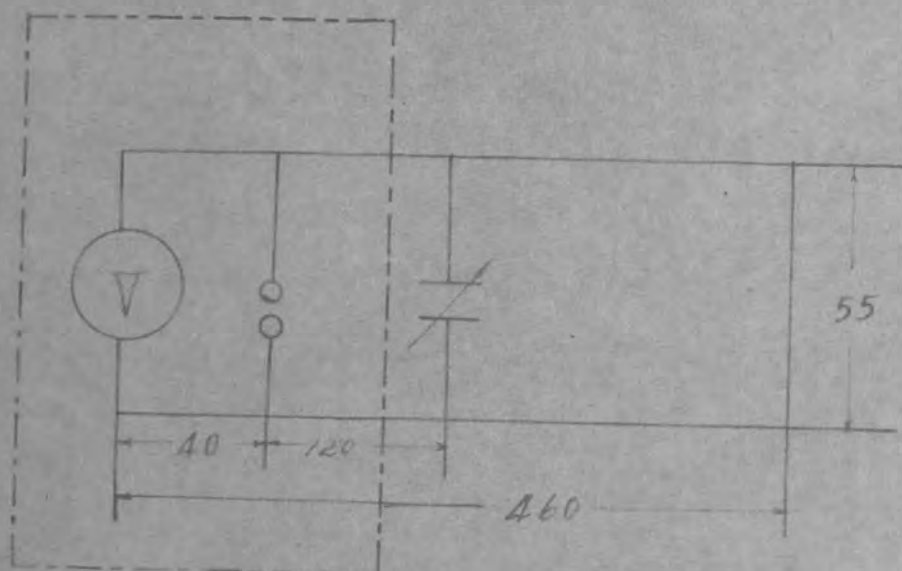


第 5 圖

陰極同調型超短波共振機  
( $\lambda = 3\text{M}$ )



(外径 200 mm, ディンケータ)

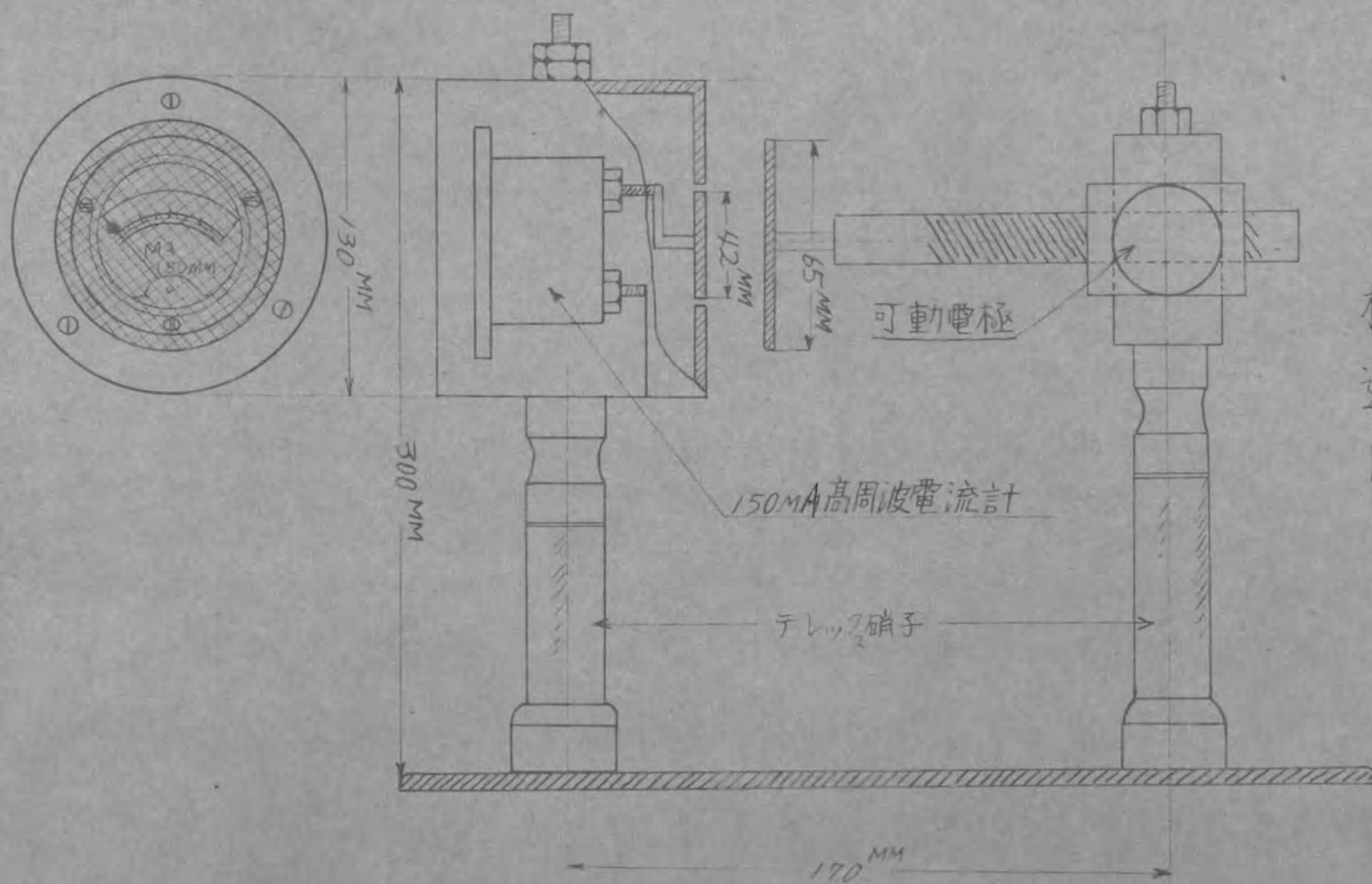




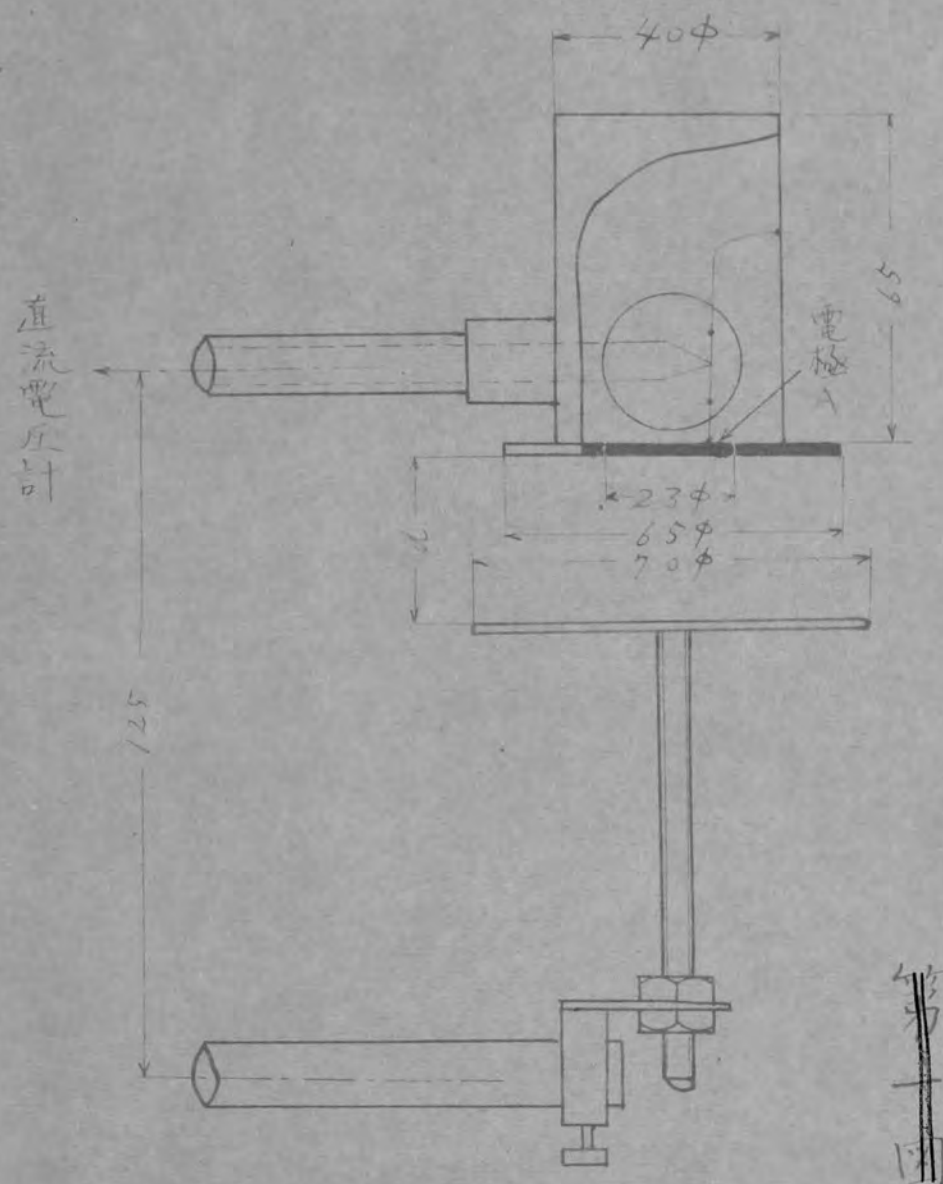
P. —

# 高周波電圧計

## 構造図

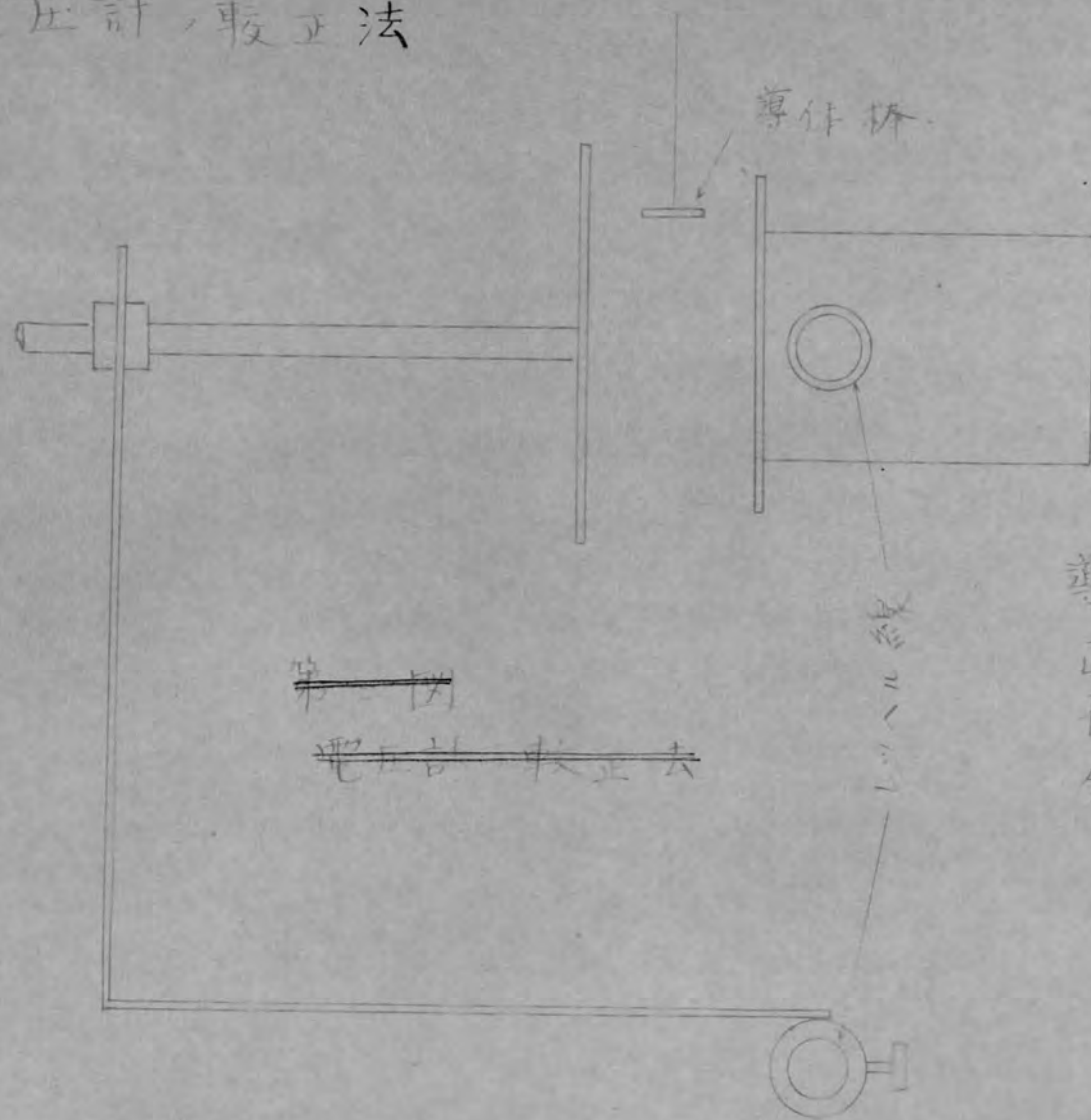


※ 電圧計，改良（超短波用）



第十一回

# ※ 電圧計校正法

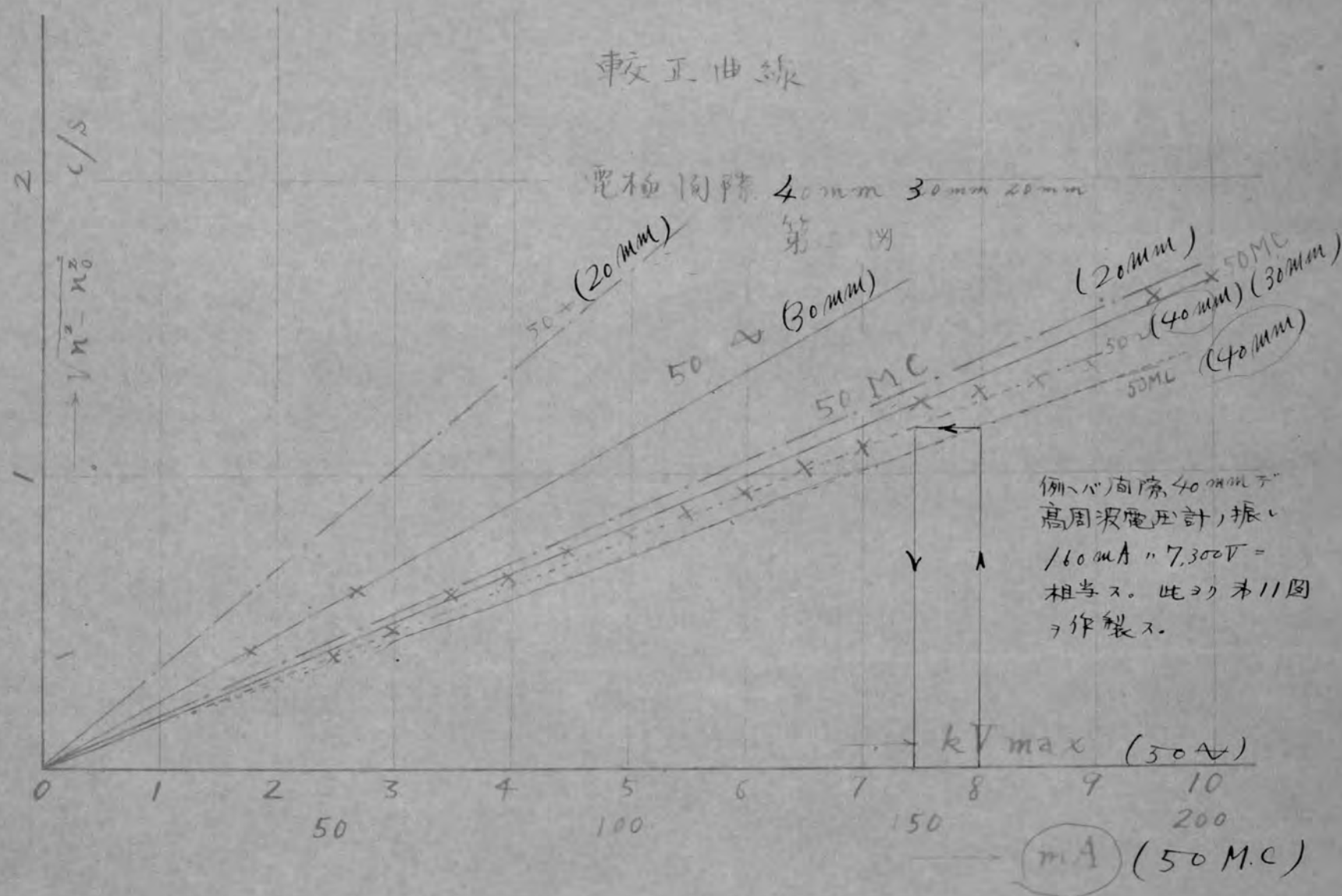


導体棒 1 本

直径 1.6 mm

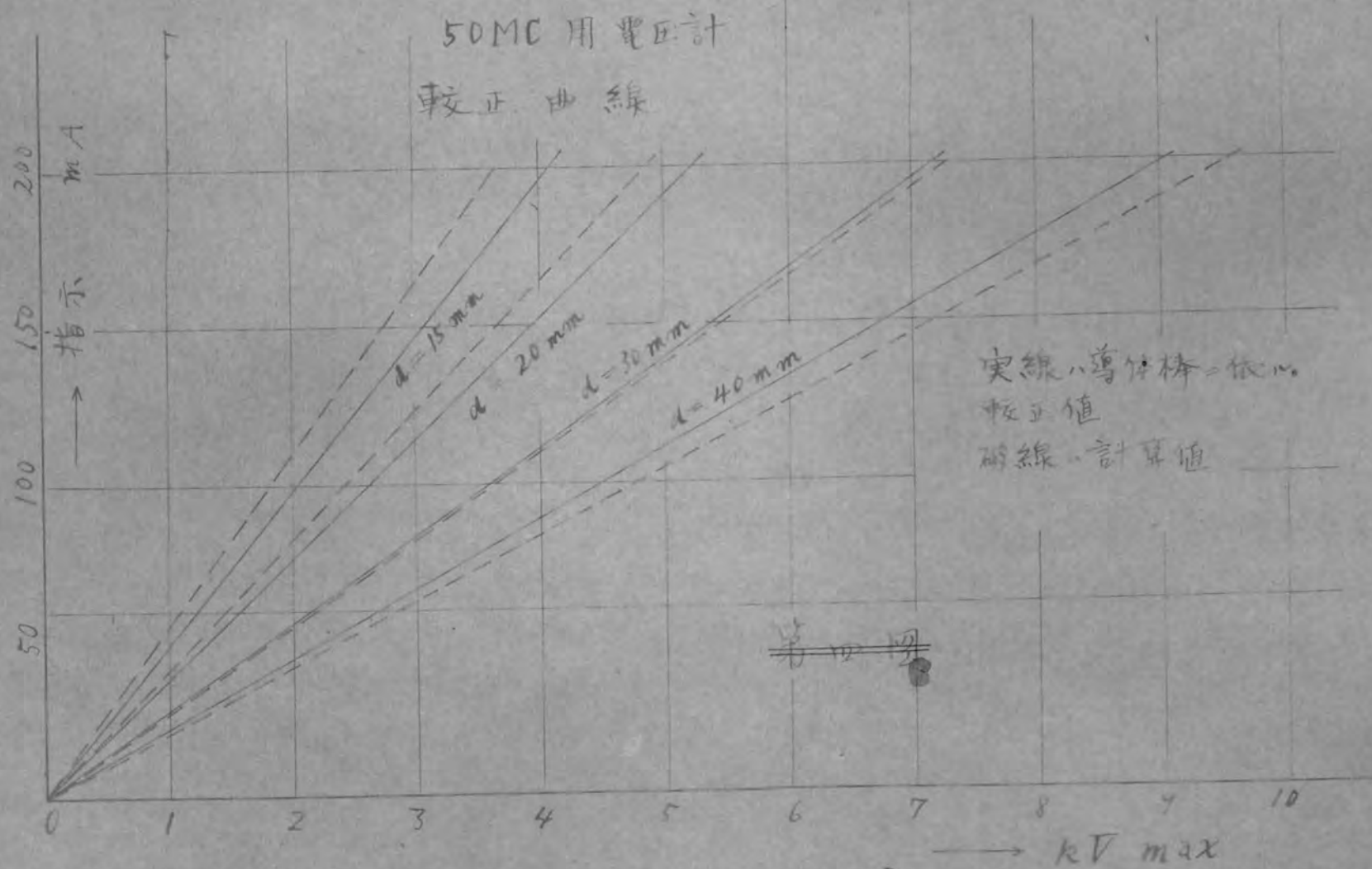
長 113 mm

銅線



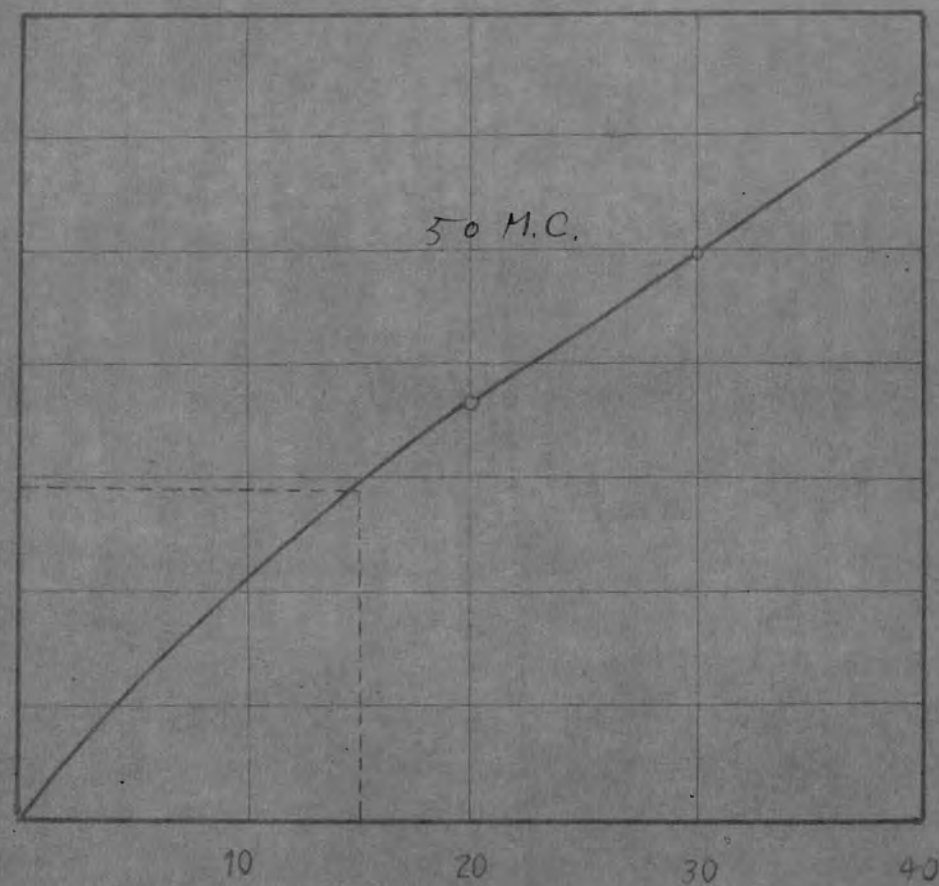
第 10 圖





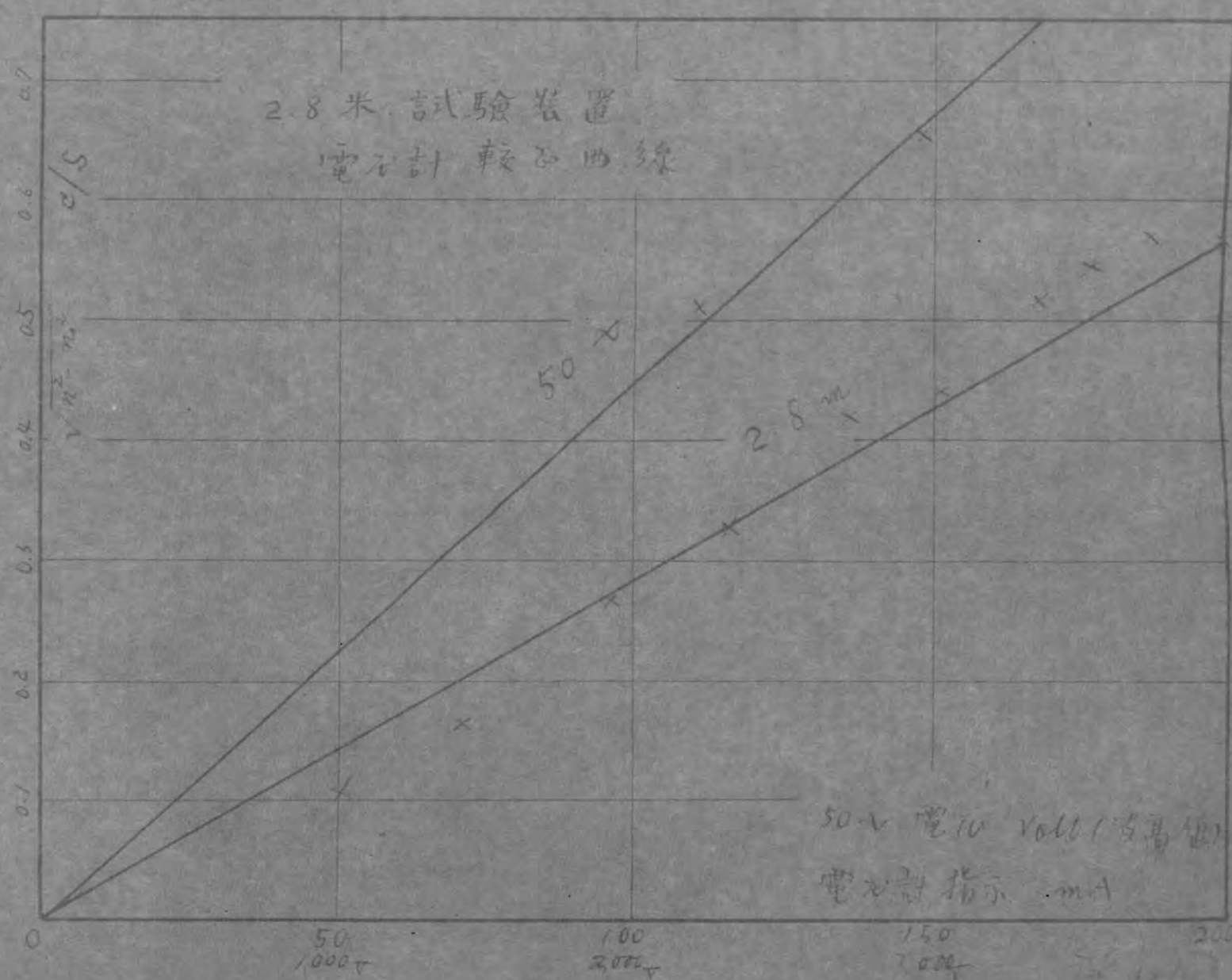
第 11 圖

異フタ間隙ニ於ケル  
 高周波電圧計ノ同一指示  
 値ノ高周波  
 同隙三ノ電圧比  
 トス

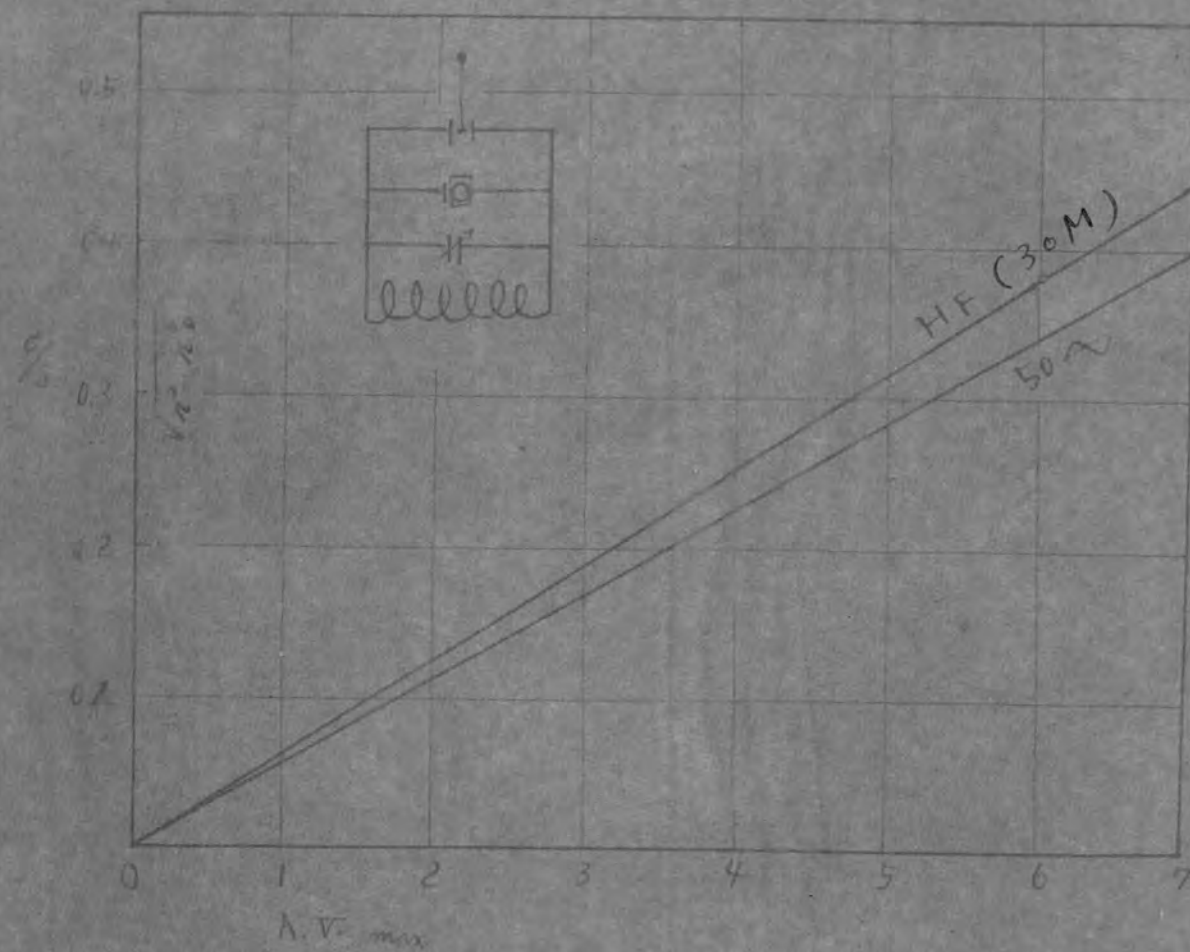


同隙長 mm

第 12 図



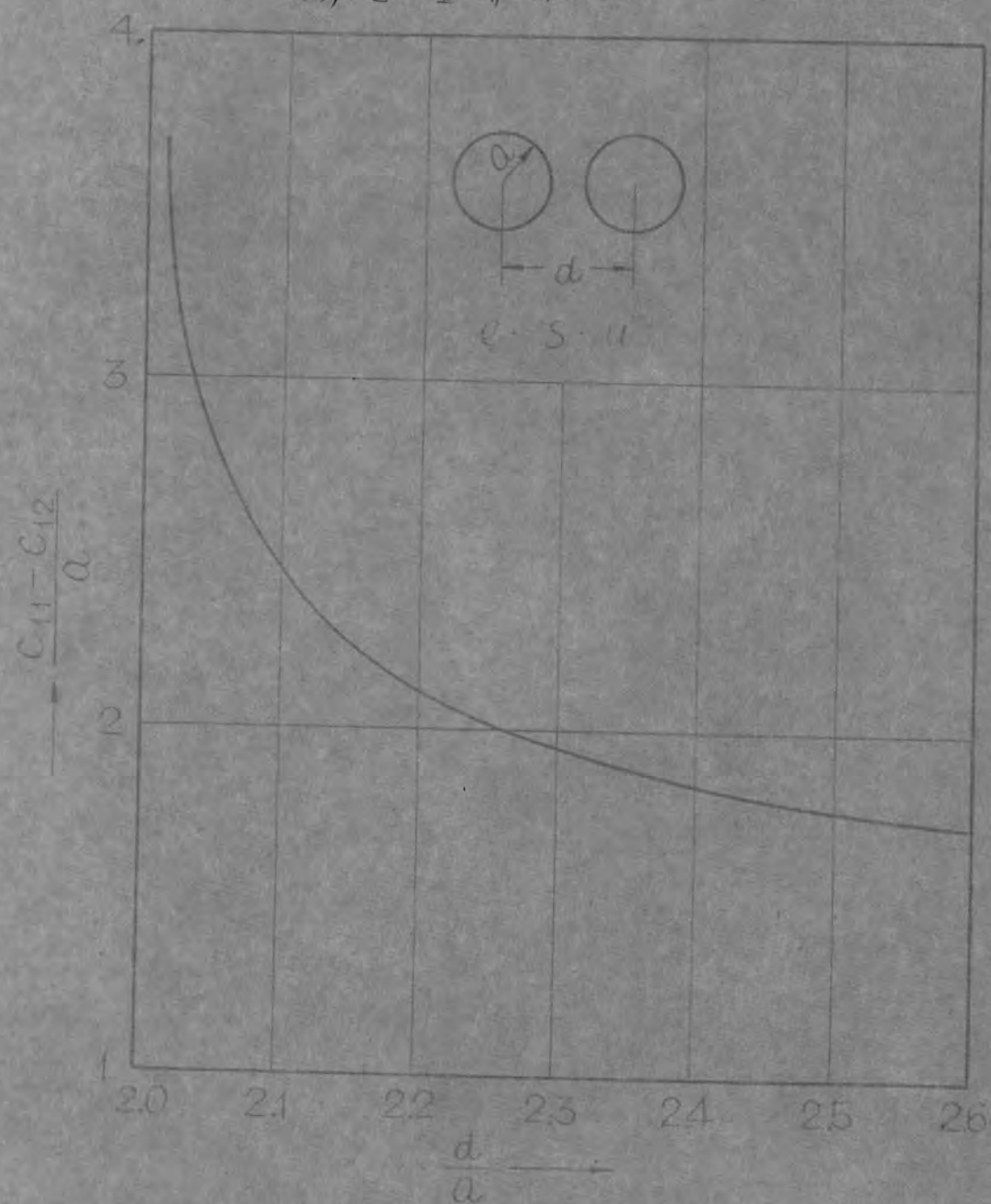
第 13 圖



第 14 图



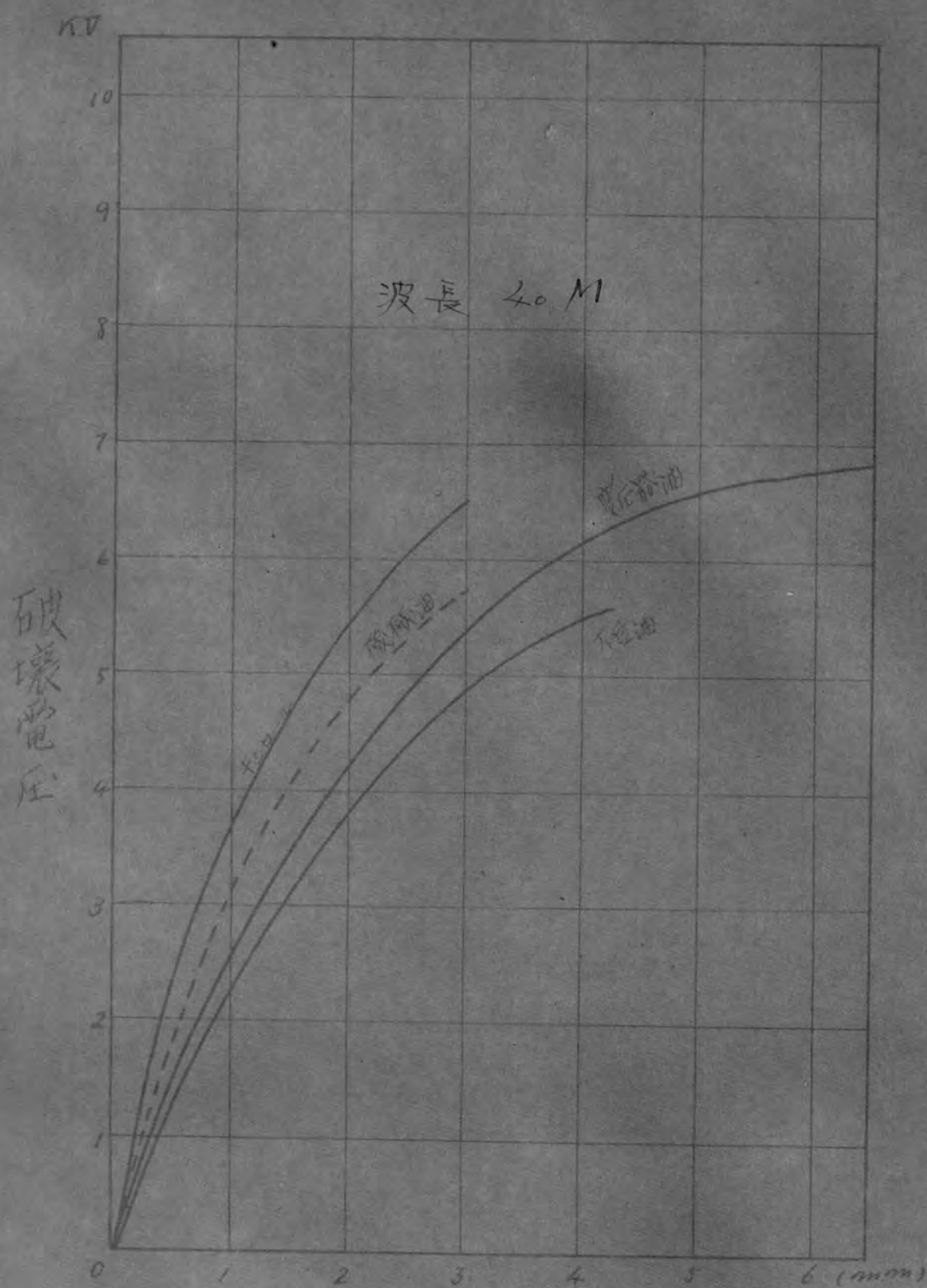
球面静電容量算出図面



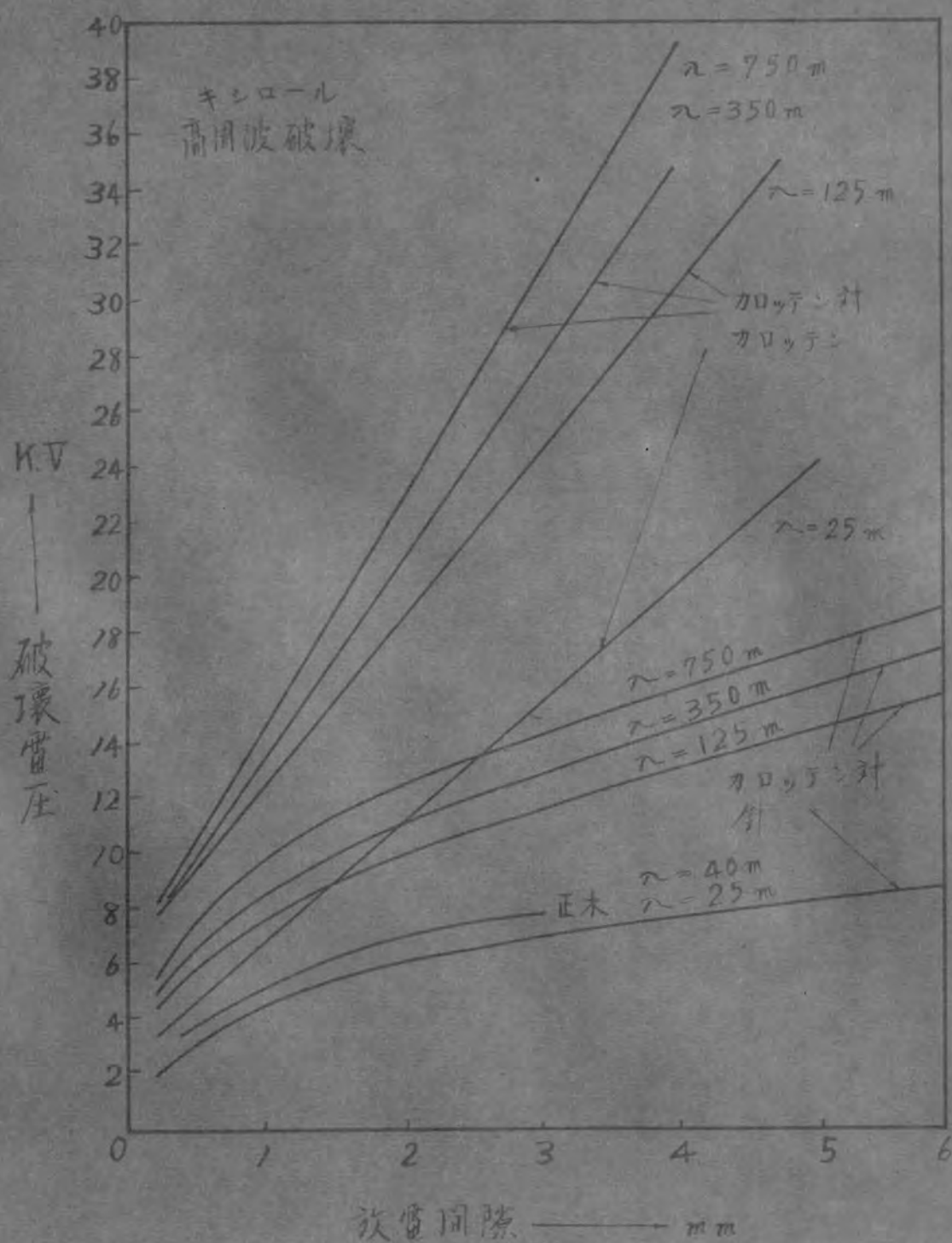
第 15 图

球面隙靜電容量算出表

dia mm	radius mm	gap mm	d mm	d/a	$\frac{C_{11}-C_{12}}{a \text{ e.s.u.}}$	C P.F
30	15.0	0.5	30.5	2.033	3.04	2.53
30	15.0	1.0	31.0	2.065	2.70	2.22
30	15.0	1.5	31.5	2.100	2.47	2.06
30	15.0	2.0	32.0	2.135	2.31	1.92
30	15.0	2.5	32.5	2.165	2.21	1.84
30	15.0	3.0	33.0	2.200	2.12	1.76
25	12.5	0.5	25.5	2.040	2.94	2.04
25	12.5	1.0	26.0	2.080	2.59	1.73
25	12.5	1.5	26.5	2.120	2.35	1.63
25	12.5	2.0	27.0	2.160	2.22	1.54
25	12.5	2.5	27.5	2.200	2.12	1.47
25	12.5	3.0	28.0	2.240	2.04	1.42
20	10.0	0.5	20.5	2.050	2.83	1.57
20	10.0	1.0	21.0	2.100	2.47	1.37
20	10.0	1.5	21.5	2.150	2.25	1.25
20	10.0	2.0	22.0	2.200	2.12	1.18
20	10.0	2.5	22.5	2.250	2.02	1.12
20	10.0	3.0	23.0	2.300	1.94	1.08
15	7.5	0.5	15.5	2.065	2.70	1.12
15	7.5	1.0	16.0	2.135	2.31	0.96
15	7.5	1.5	16.5	2.200	2.12	0.88
15	7.5	2.0	17.0	2.268	2.00	0.83
15	7.5	2.5	17.5	2.335	1.91	0.795
15	7.5	3.0	18.0	2.400	1.84	0.765
10	5.0	0.5	10.5	2.100	2.47	0.685
10	5.0	1.0	11.0	2.200	2.12	0.588
10	5.0	1.5	11.5	2.300	1.94	0.538
10	5.0	2.0	12.0	2.400	1.84	0.510
10	5.0	2.5	12.5	2.500	1.78	0.494
10	5.0	3.0	13.0	2.600	1.73	0.480

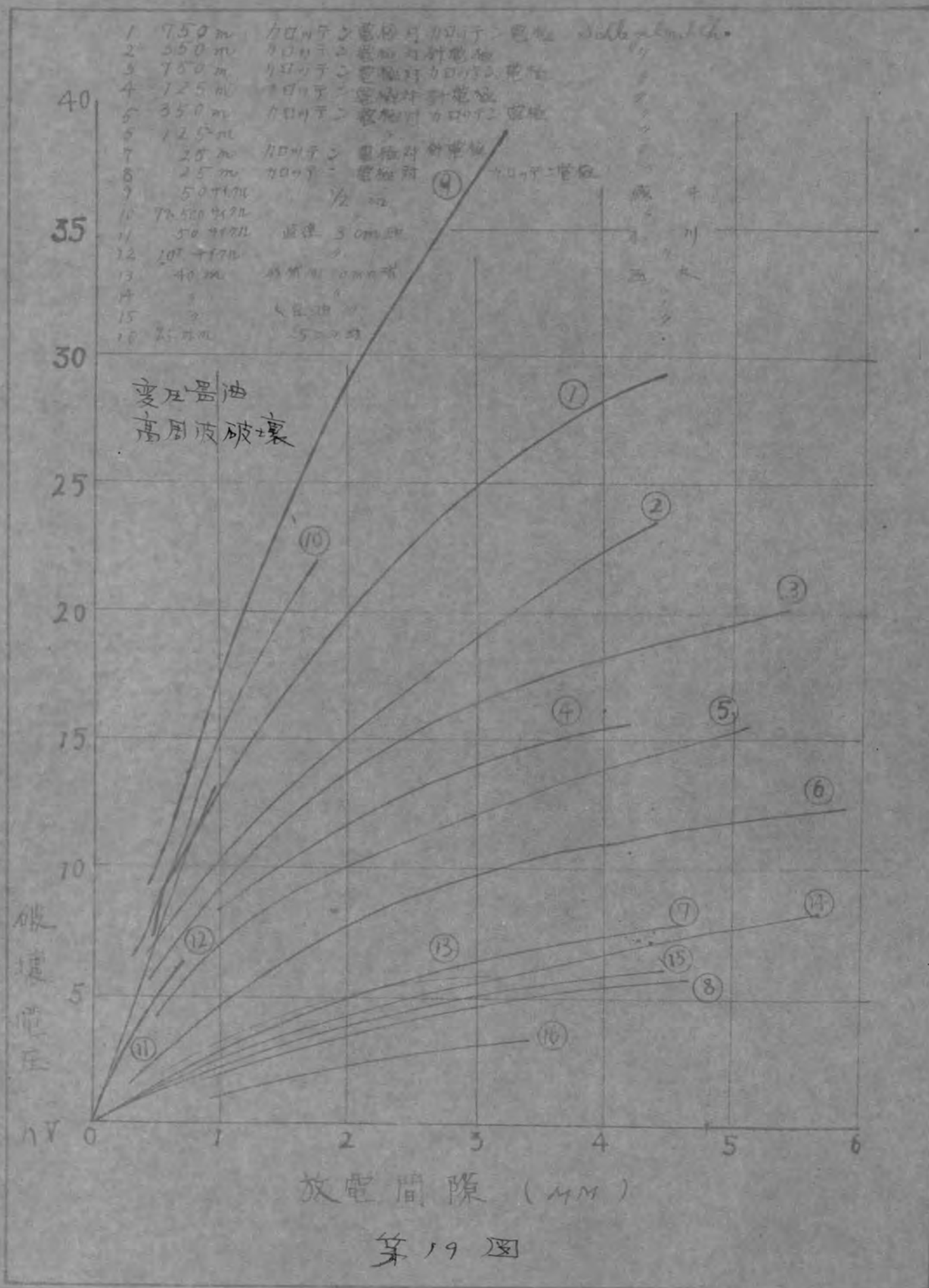




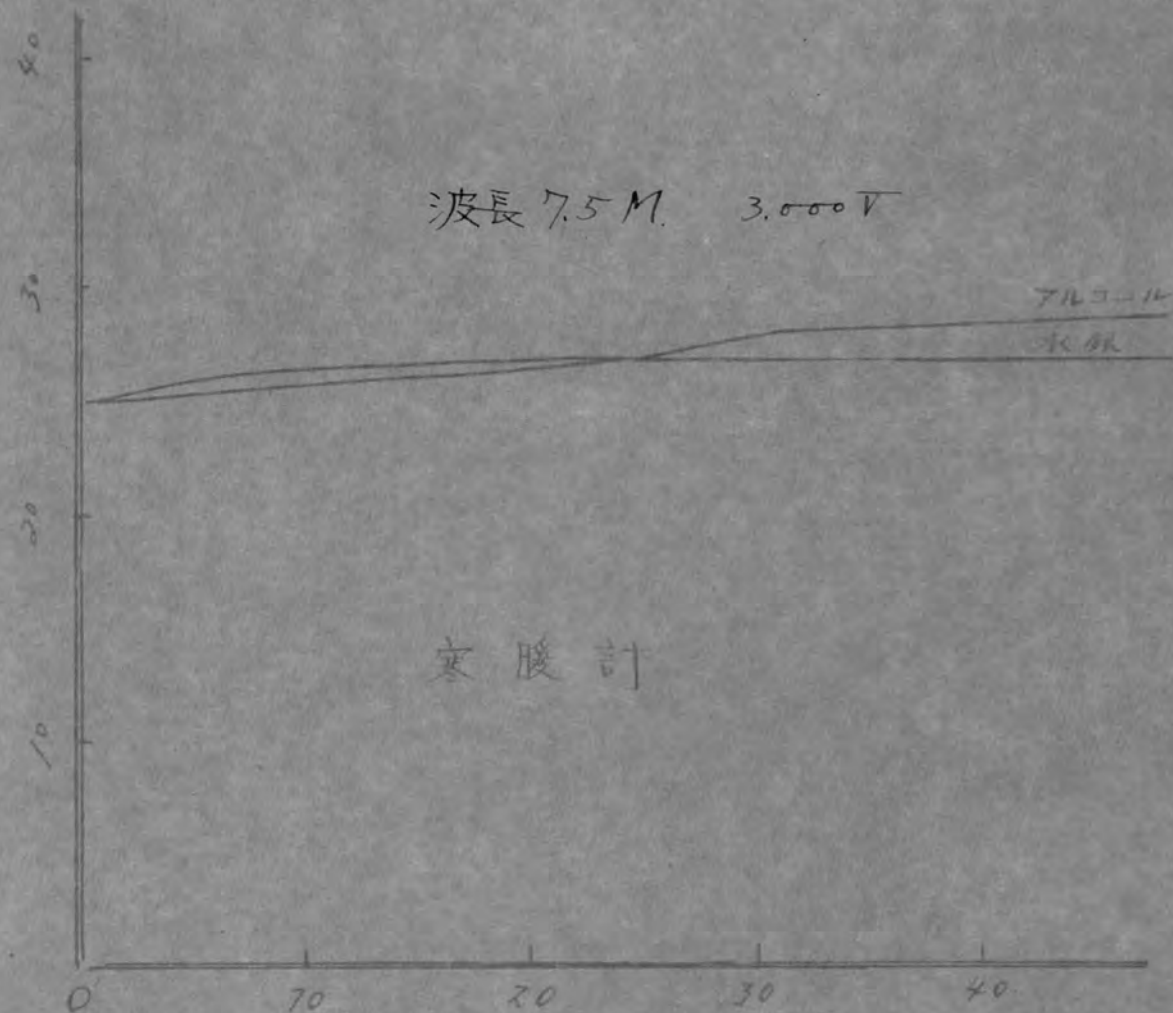


第 18 図



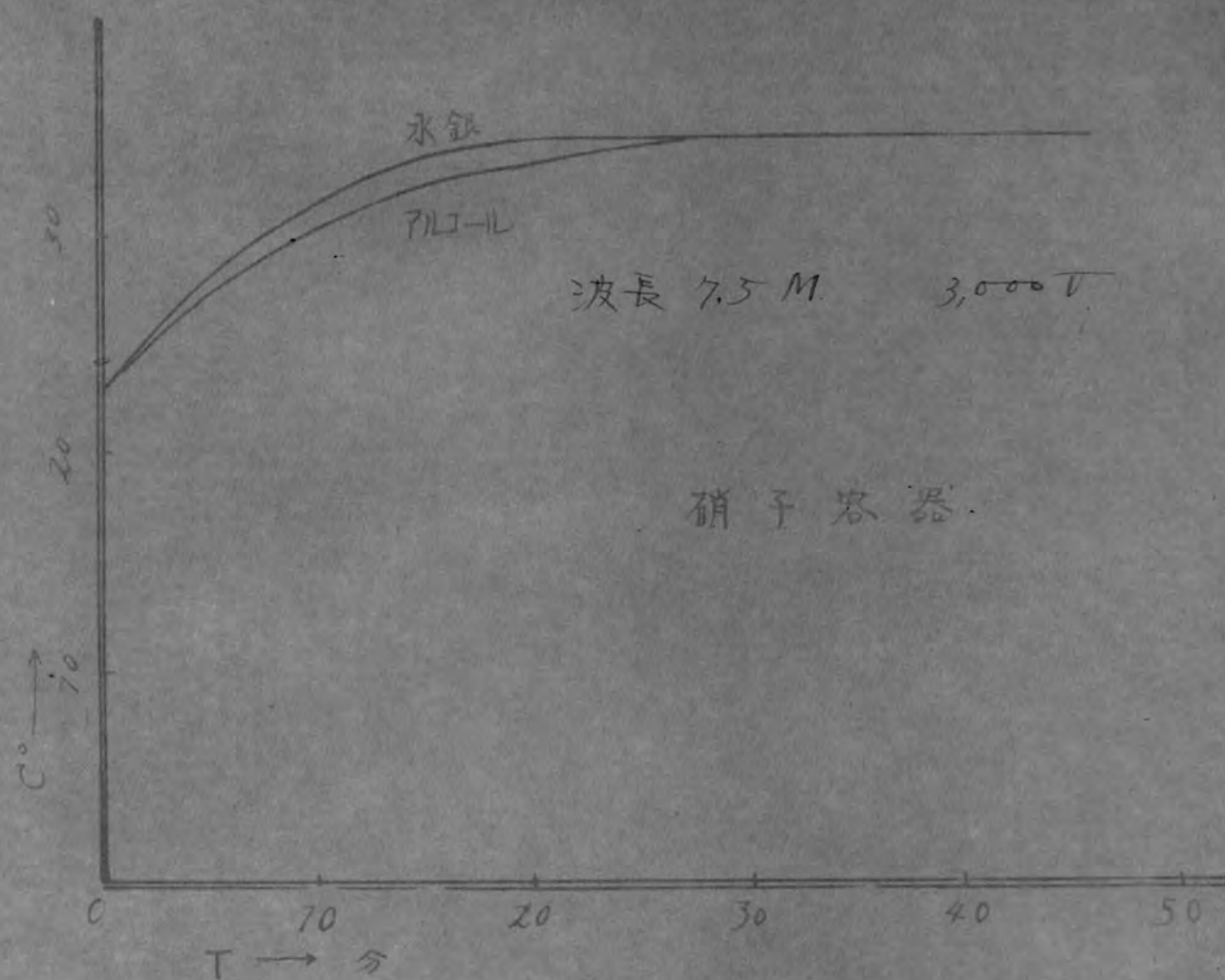


波長 7.5 M. 3.000 V

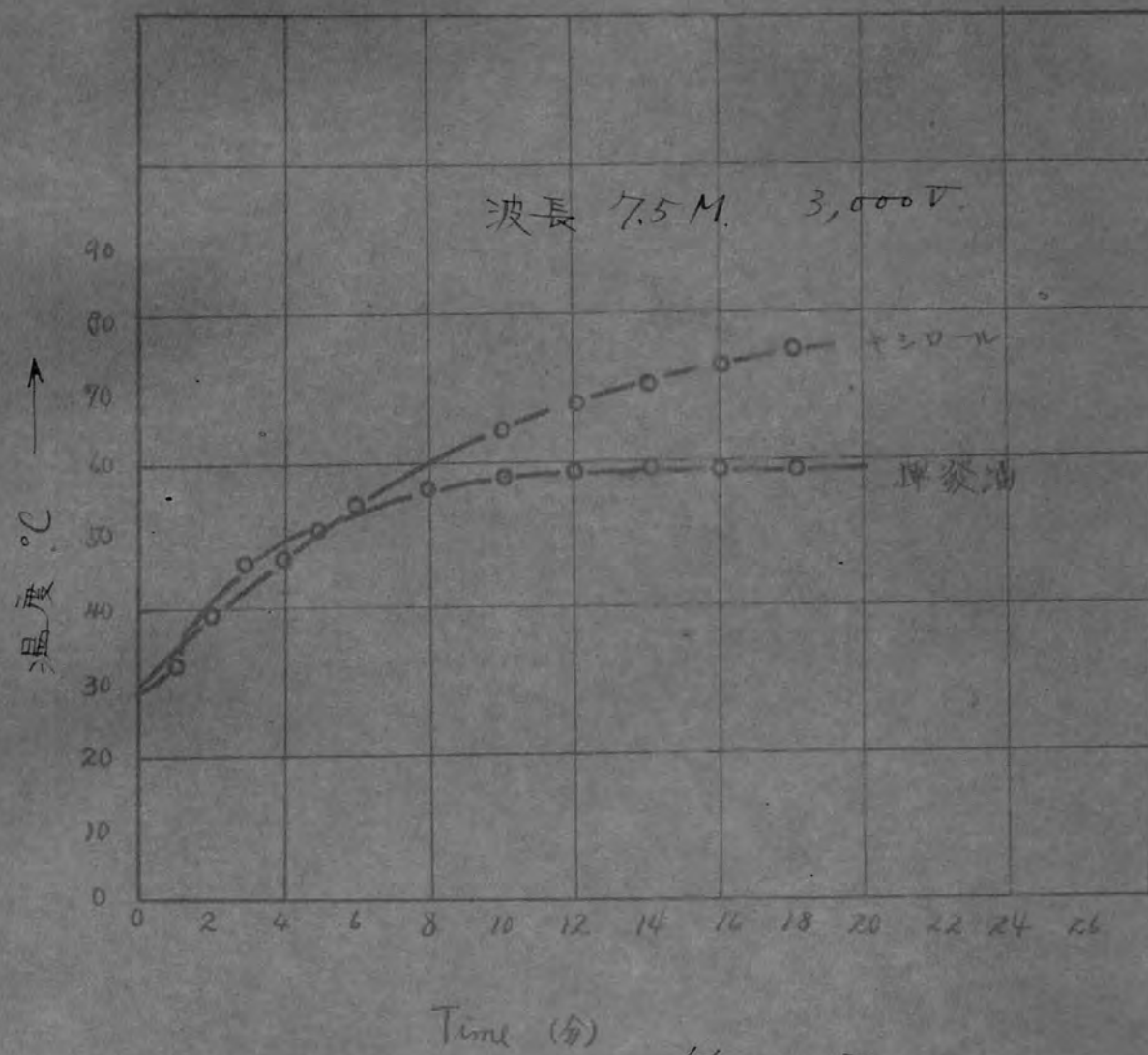


寒 暖 計

計 20 図

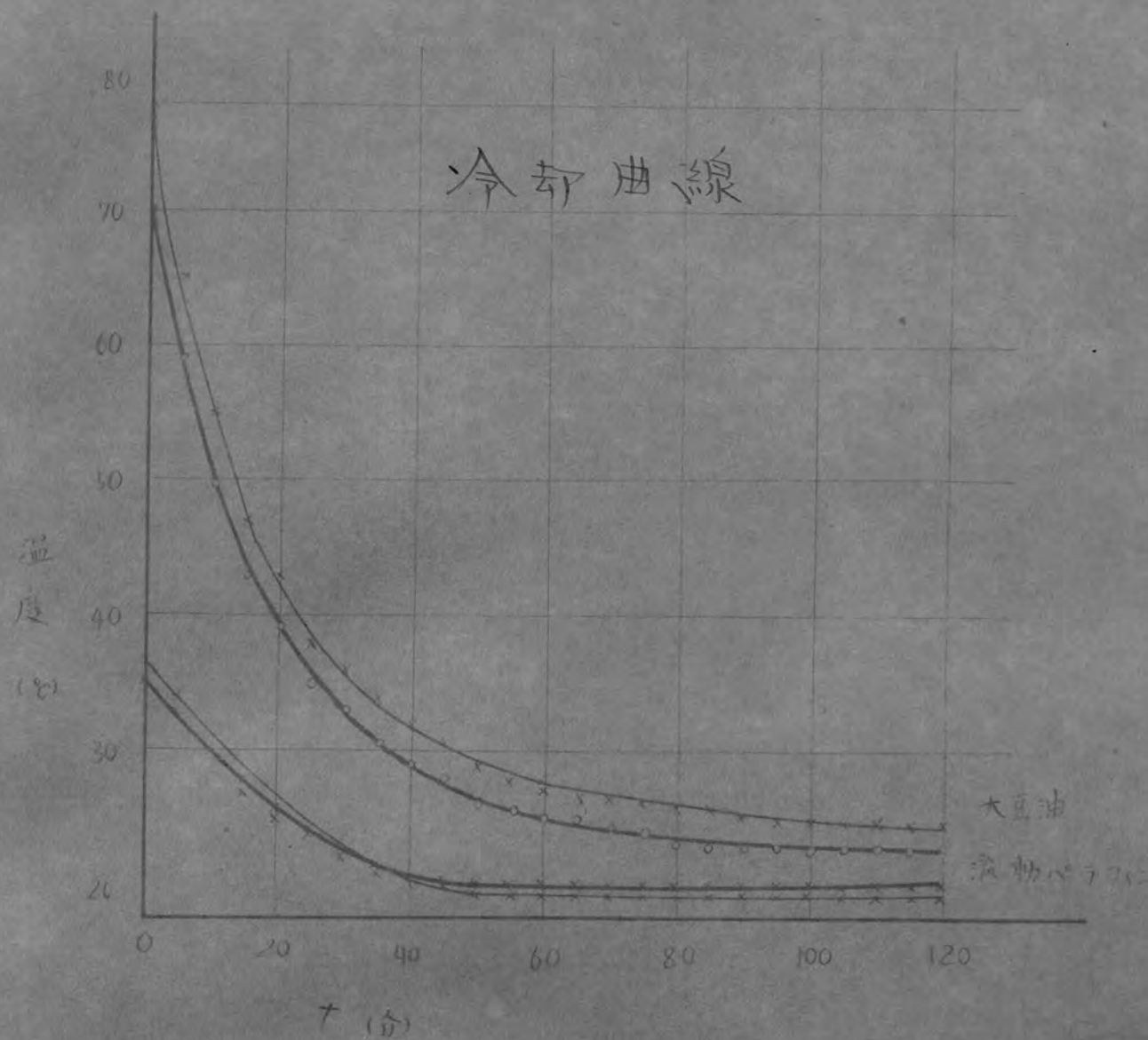


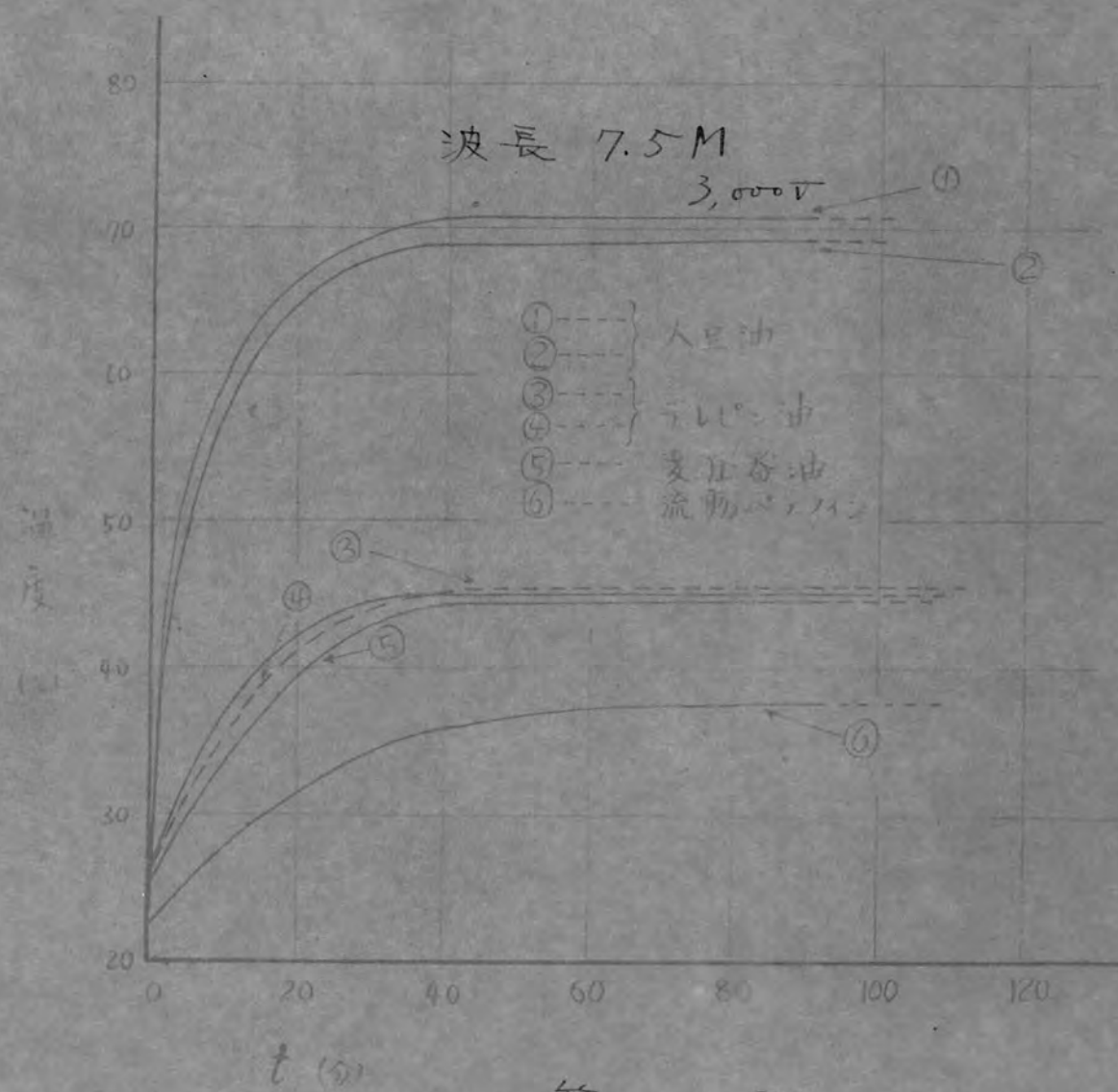
第 21 圖



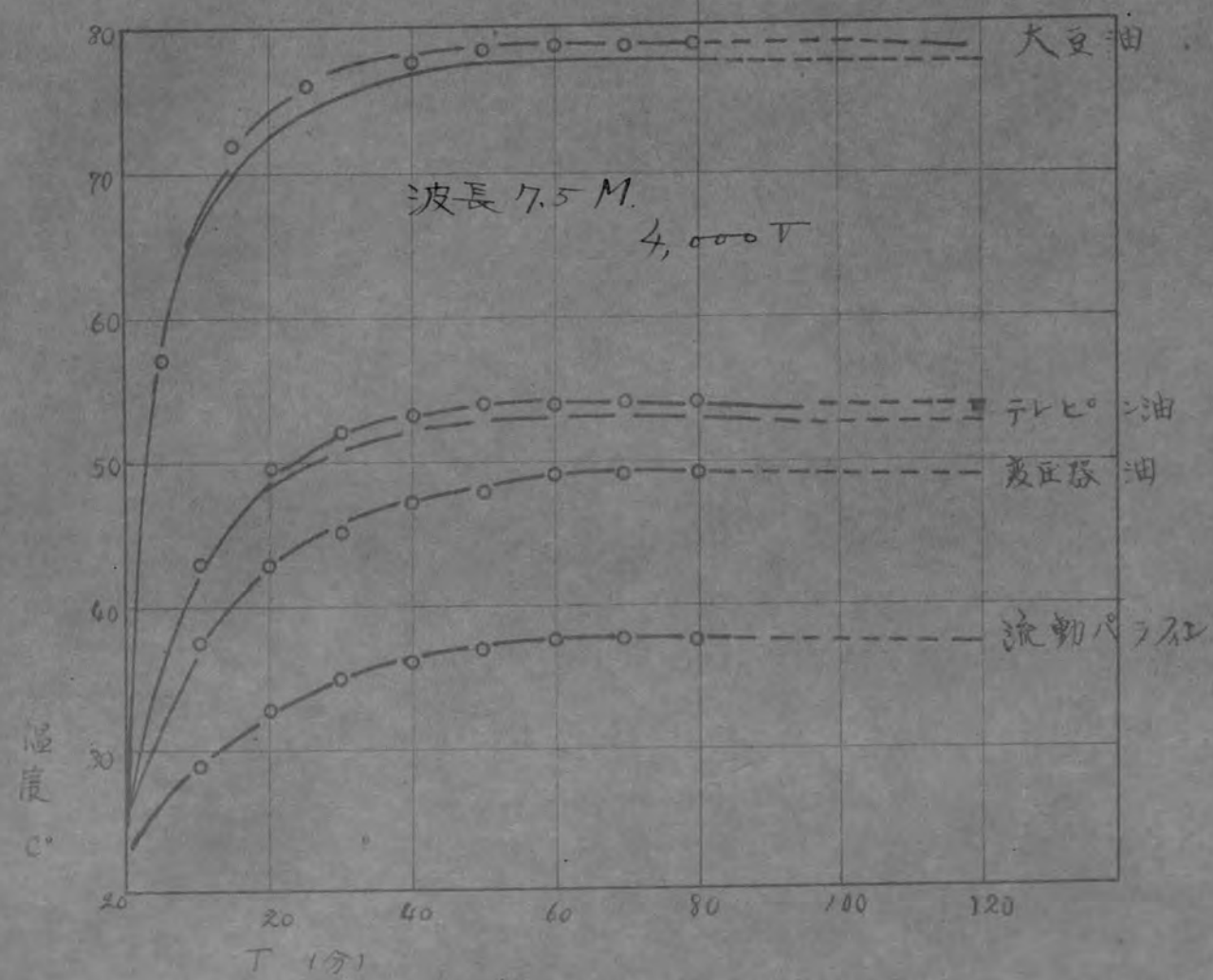


# 冷却曲线

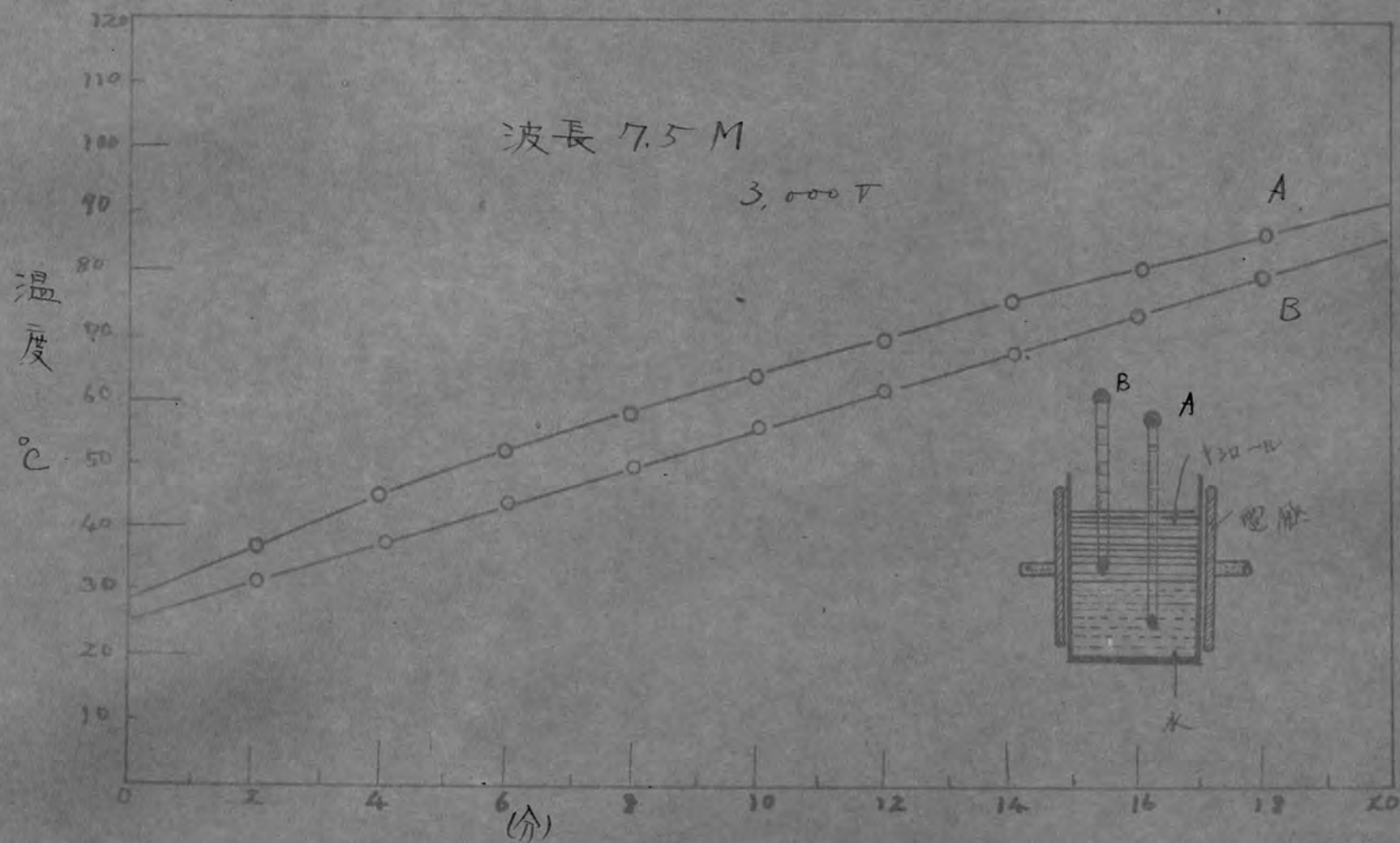




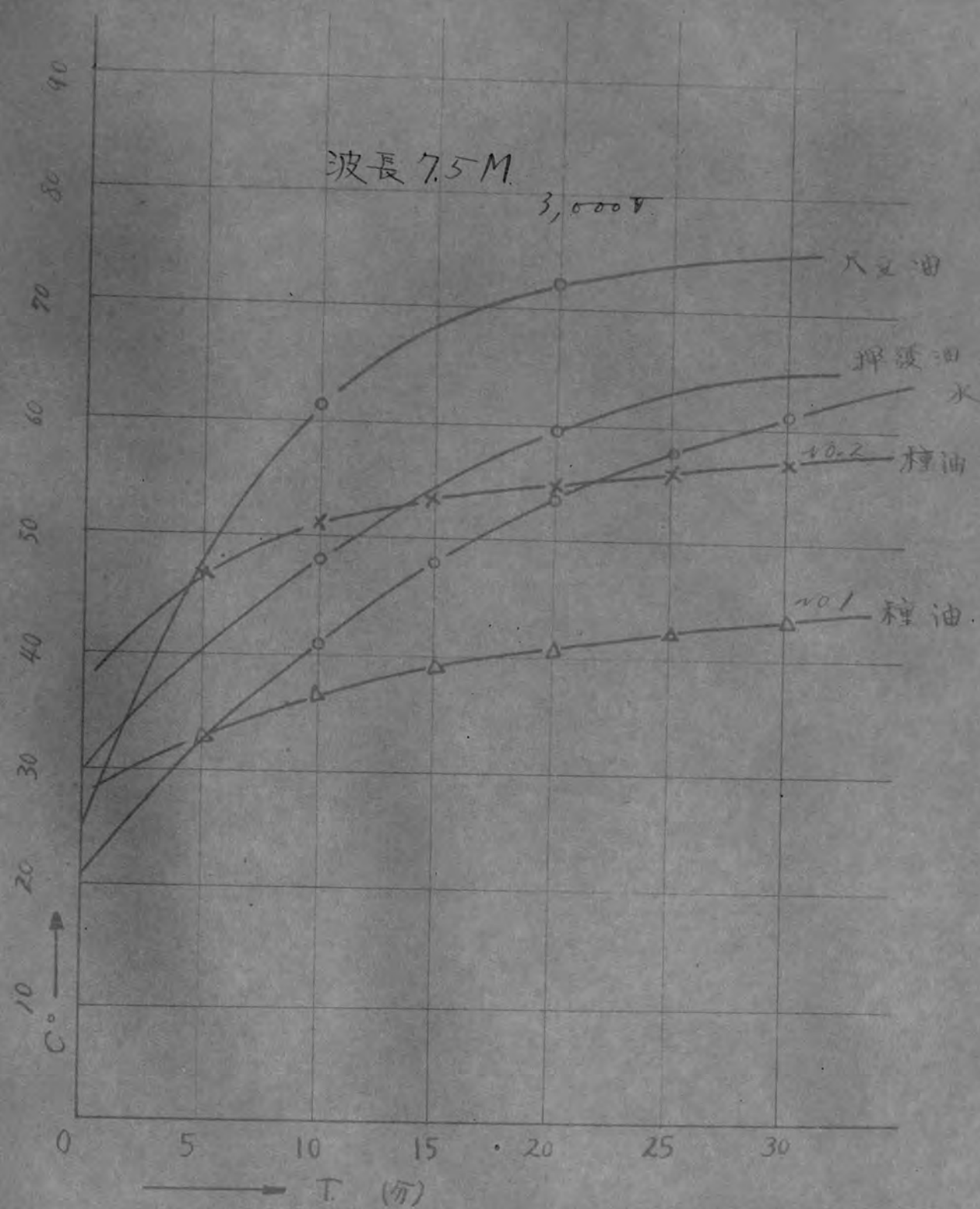
第 24 圖



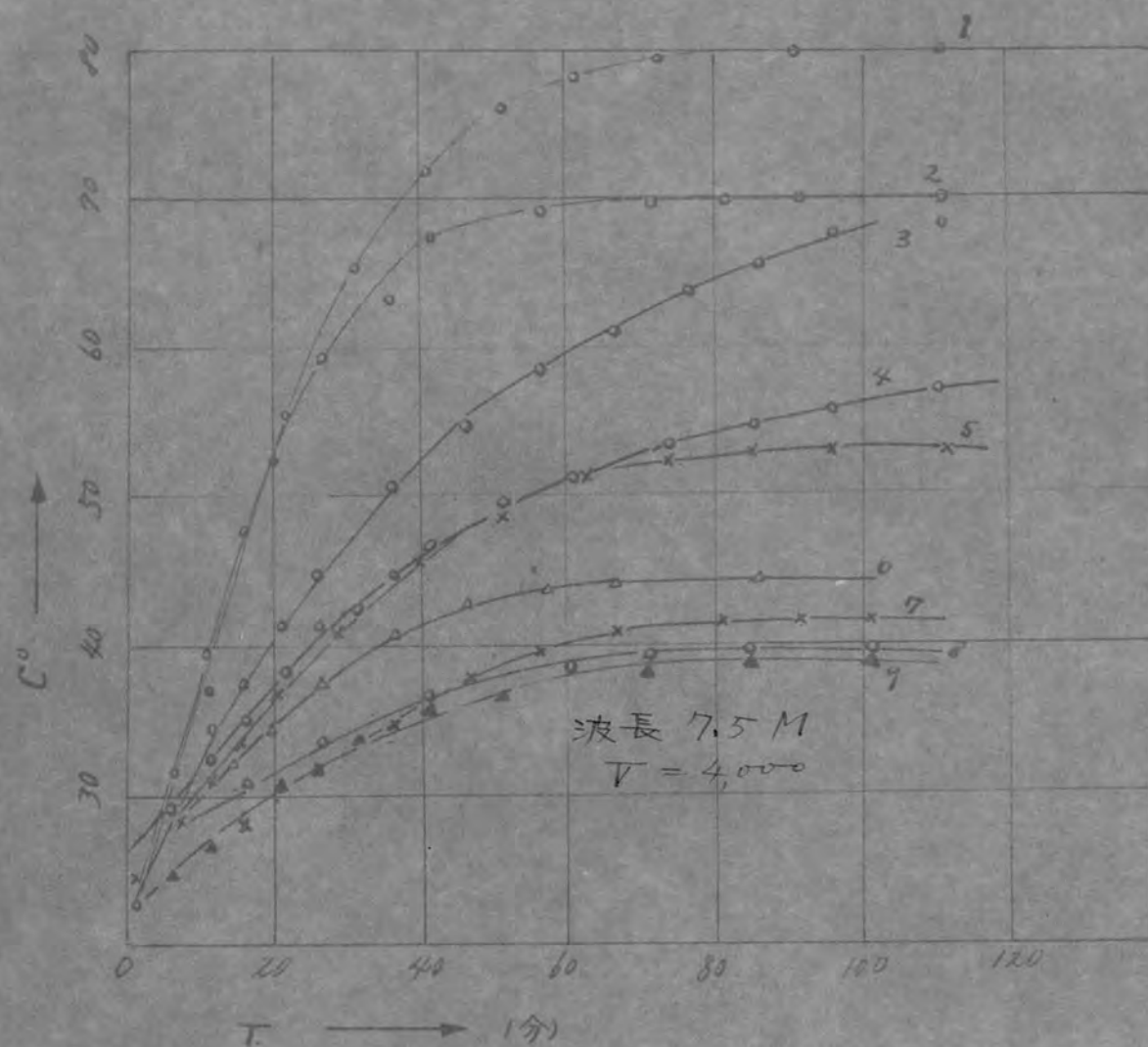
第 25 図







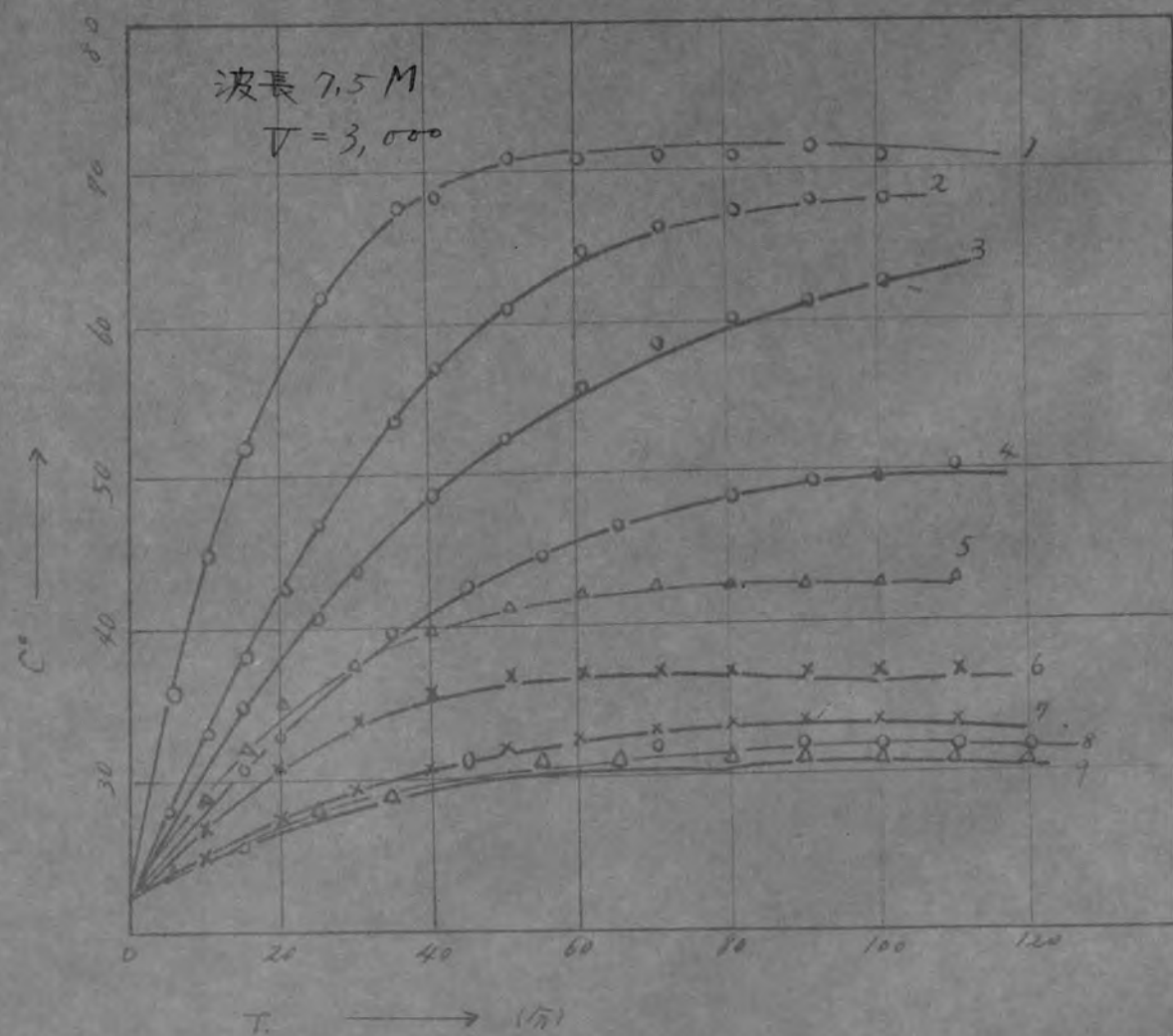
第 27 圖



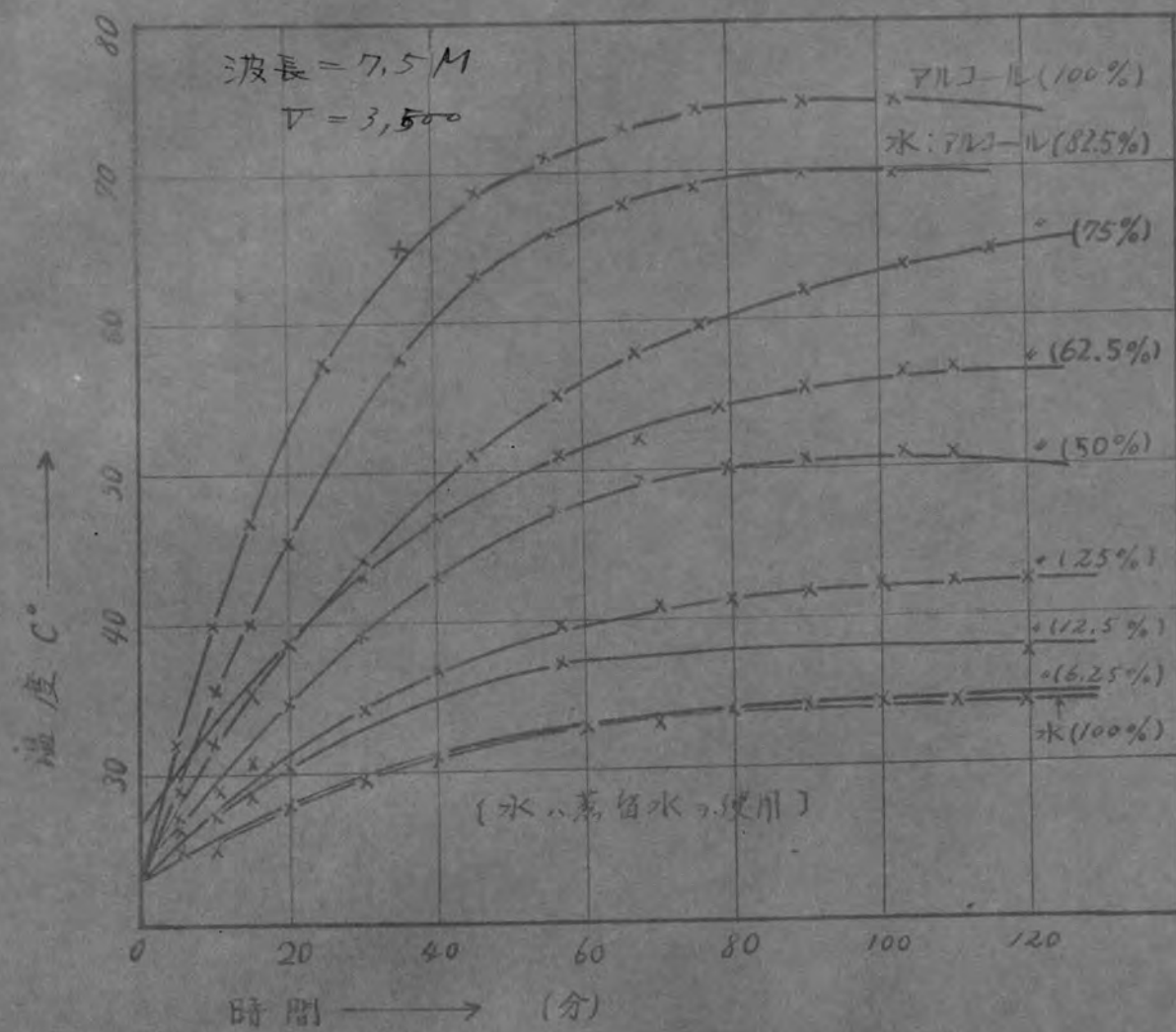
- 1. FILJ-L 100%
- 2. 水: FILJ-L 82.5%
- 3. " 75%
- 4. " 62.5%
- 5. " 50%
- 6. " 25%
- 7. " 6.25%
- 8. " 12.5%
- 9. 水 100%

水は蒸留水ナリ

第 28 圖

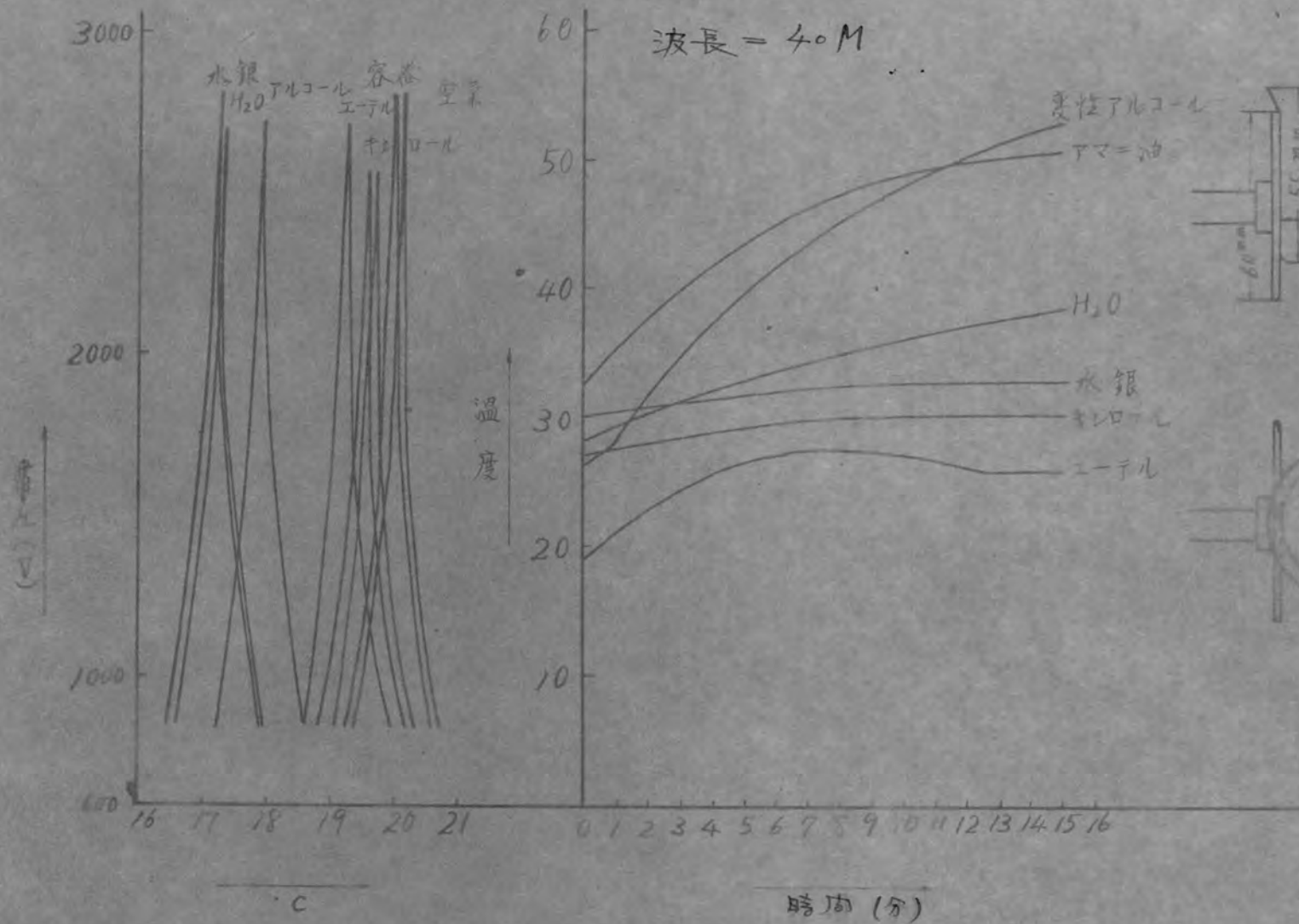


1. FILJ-IL (100%)
2. 水: FILJ-IL (82.5%)
3. " (75%)
4. " (62.5%)
5. " (50%)
6. " (25%)
7. " (12.5%)
8. \* (100%)
9. 水: FILJ-IL (6.25%)

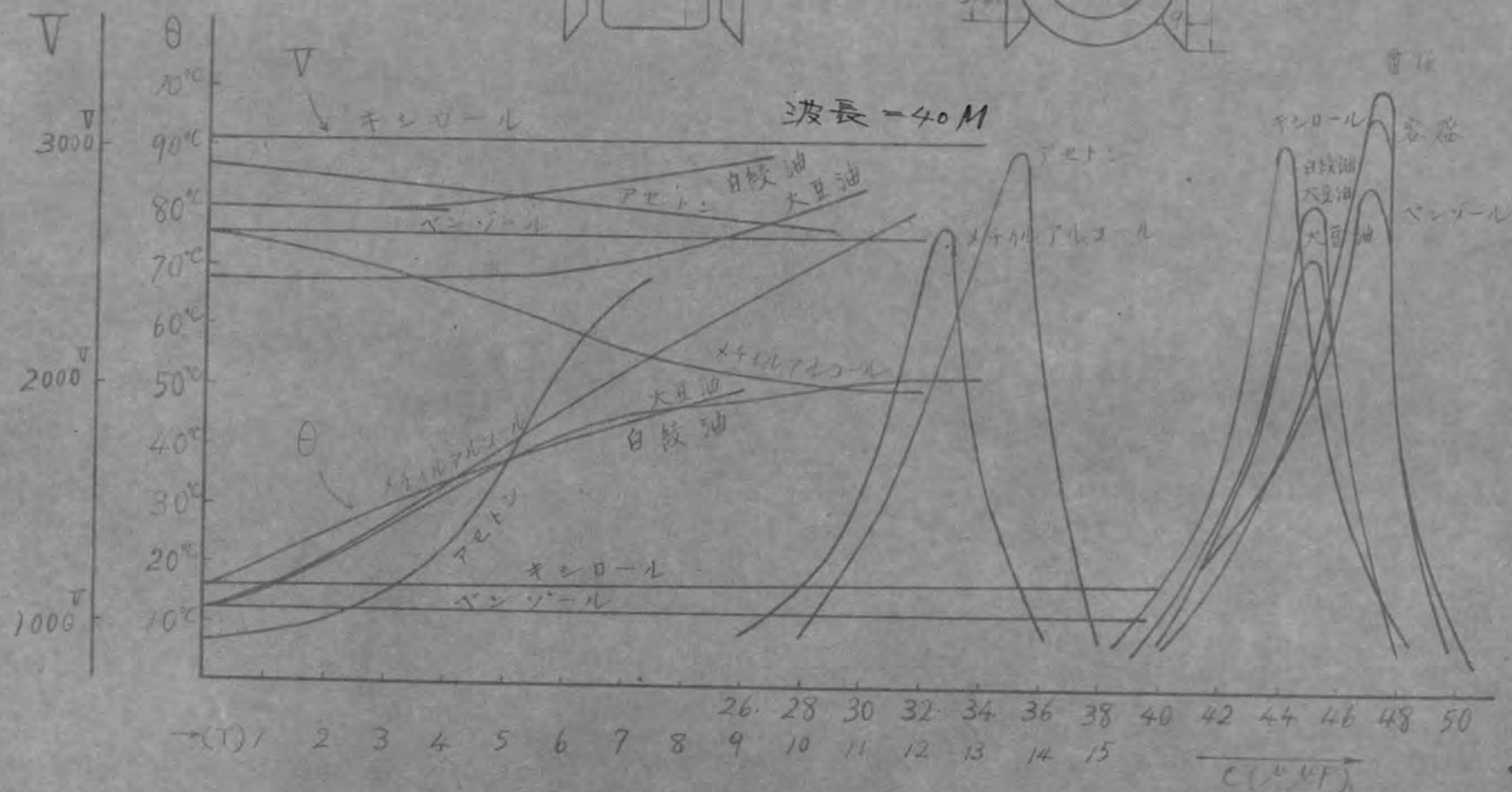


第 30 圖

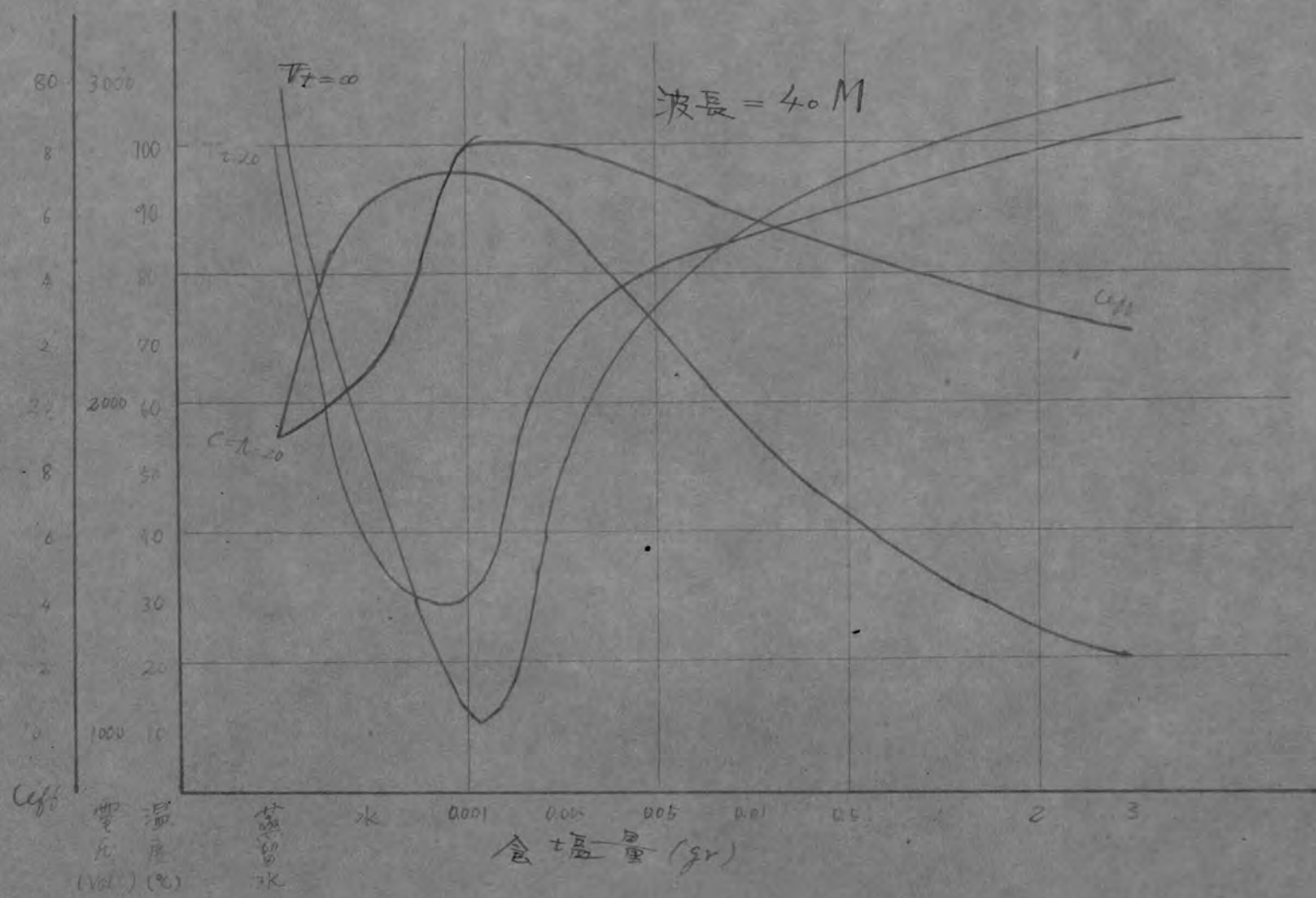




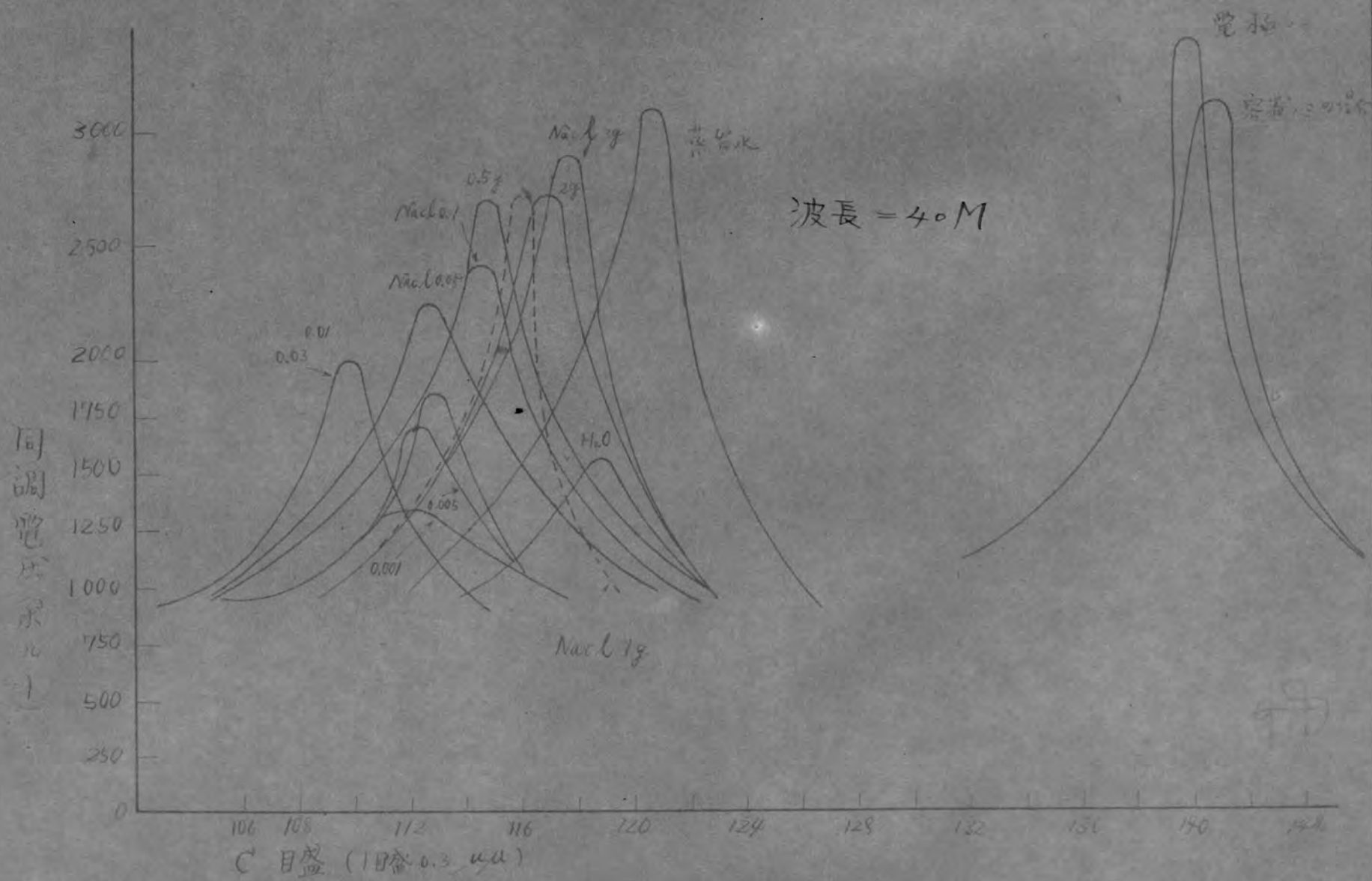
第31図



第 32 図

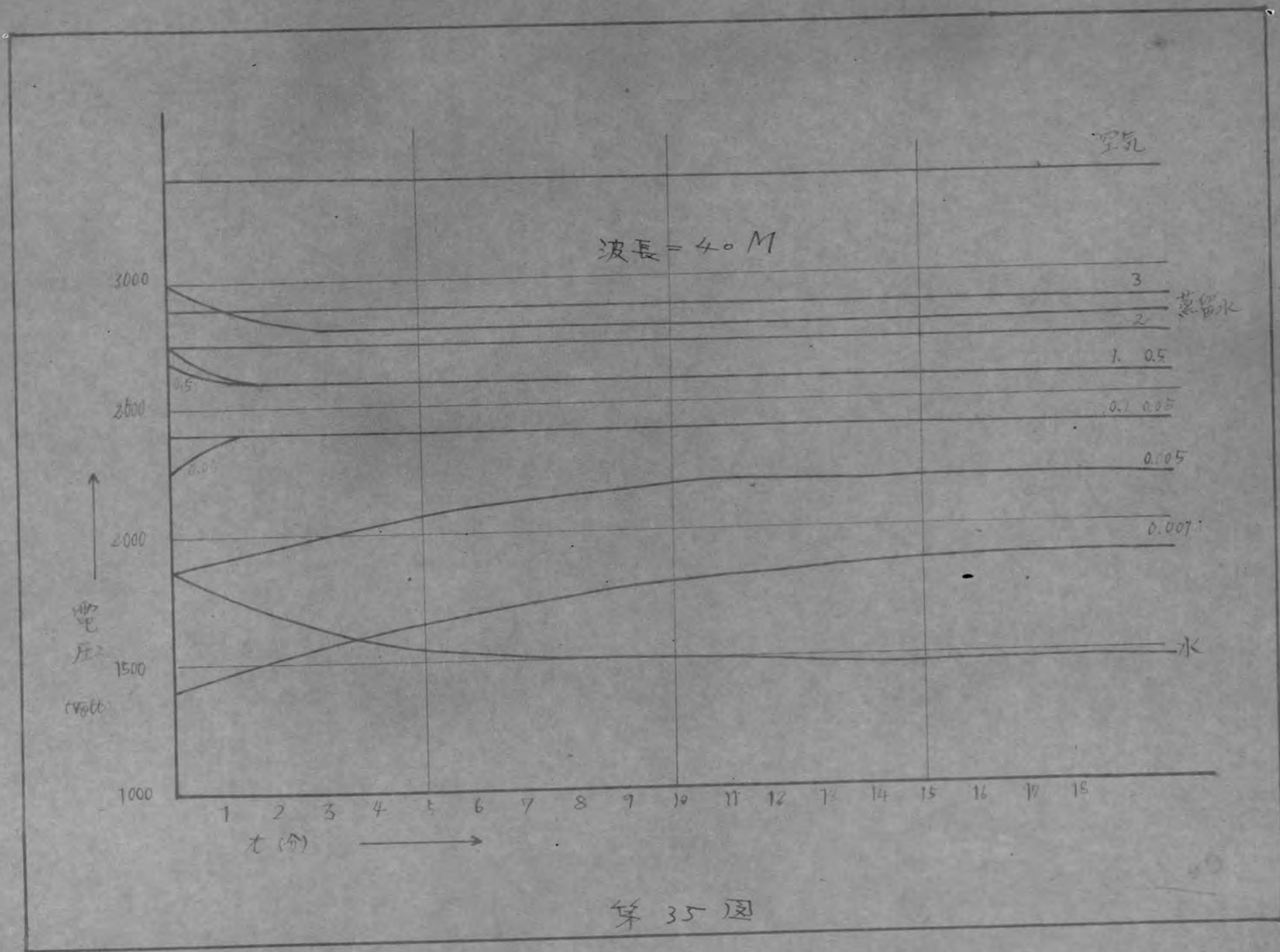


→ 33 図



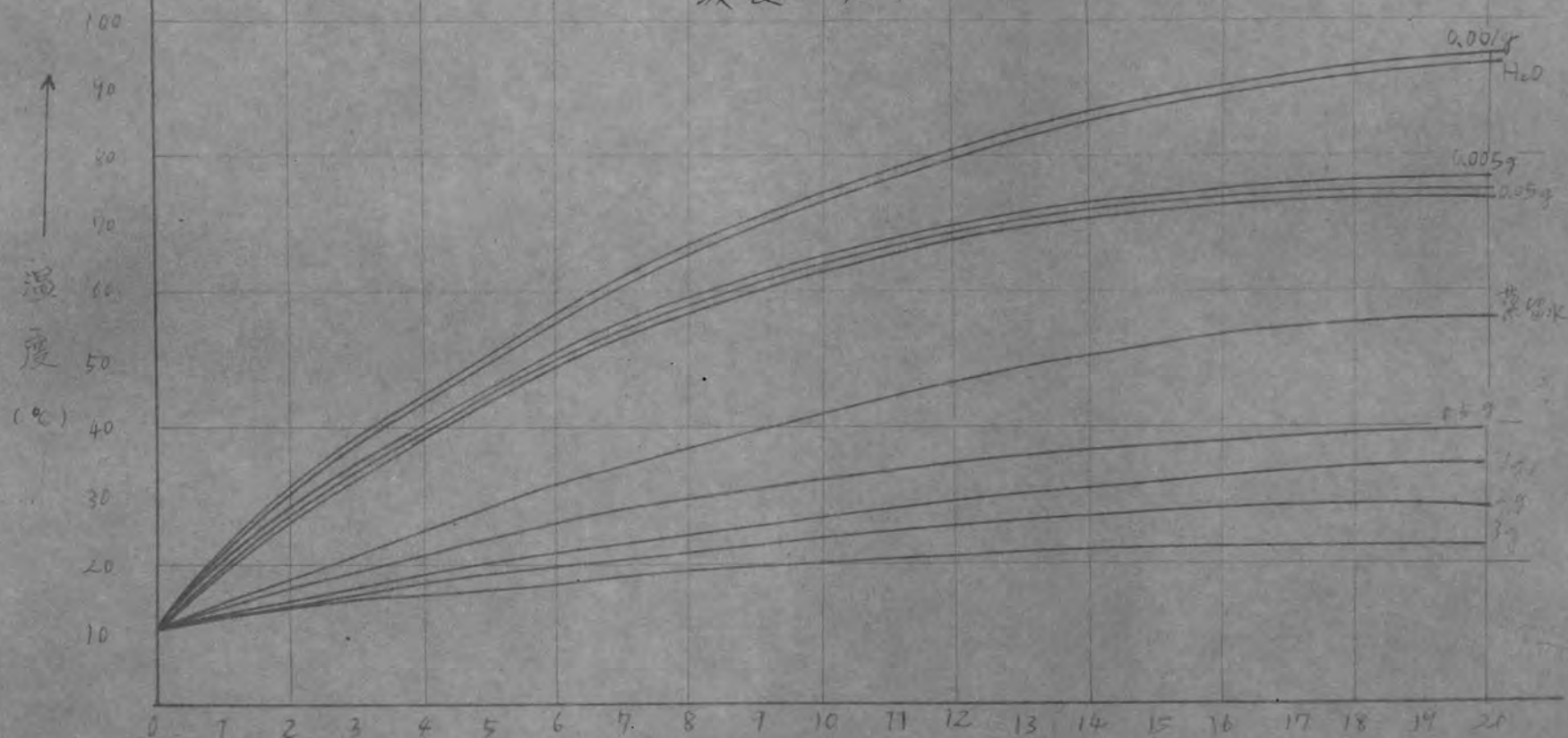
第 34 圖





第 35 圖

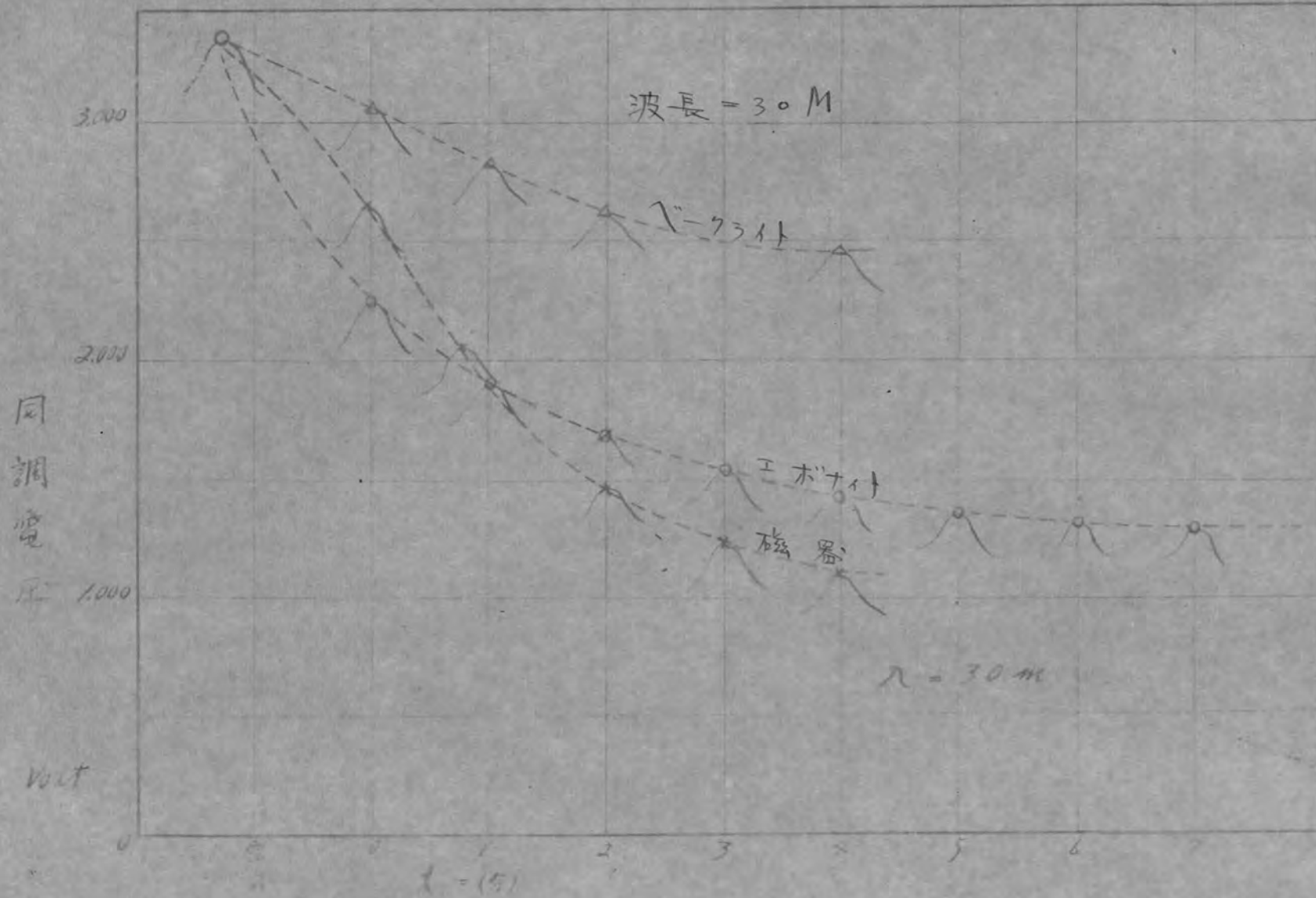
波長 = 4.0 M



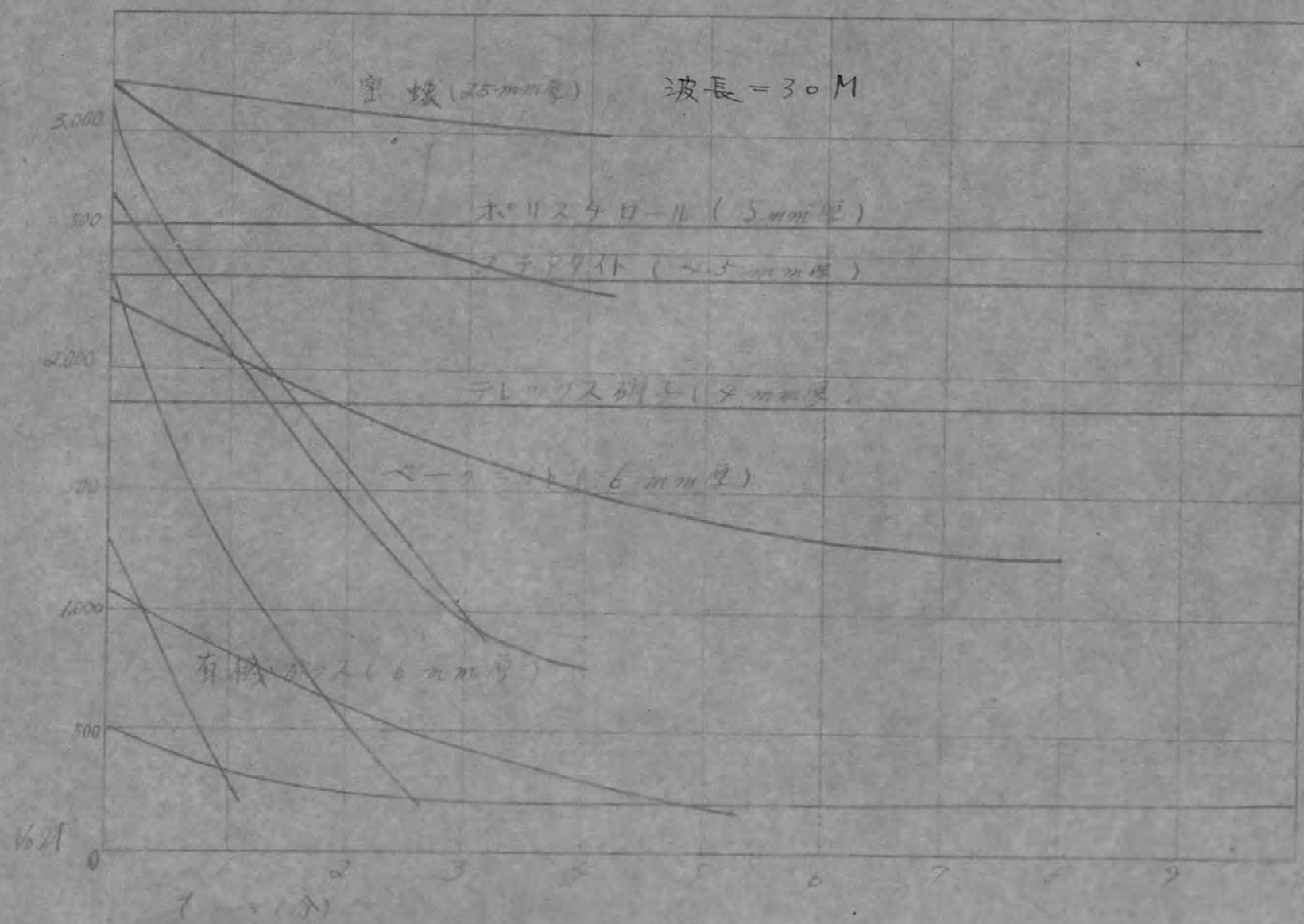
15) →

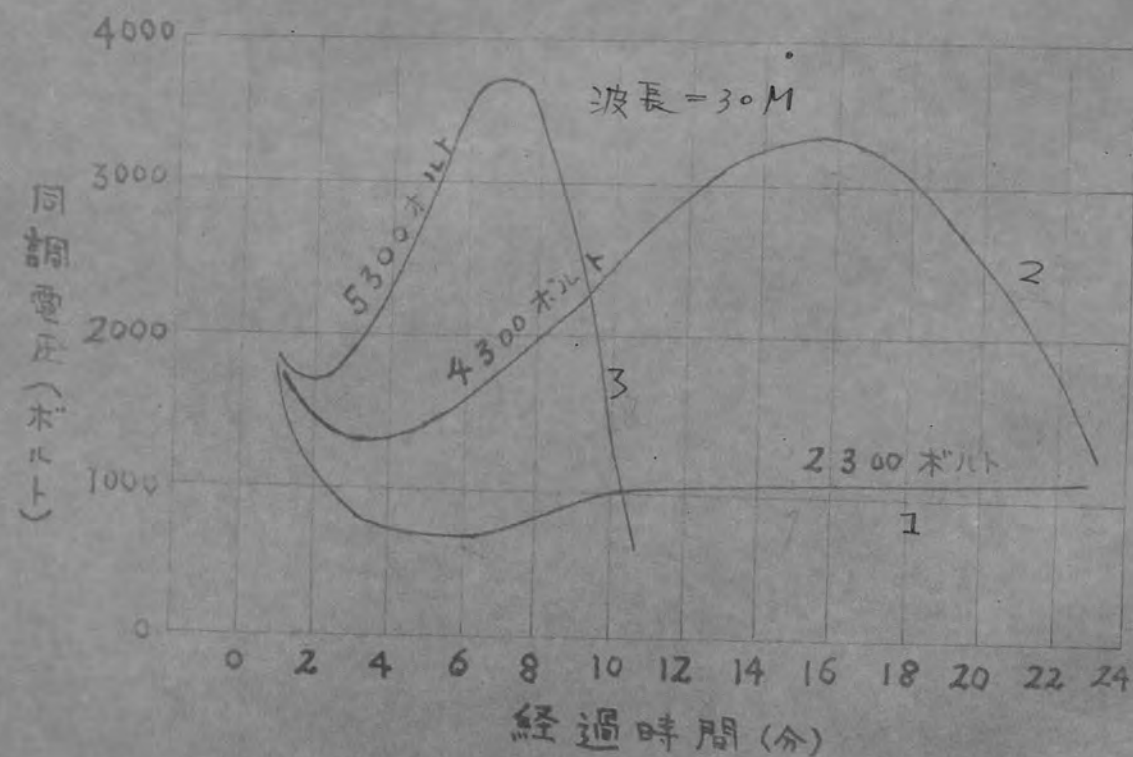
→ 36) 図







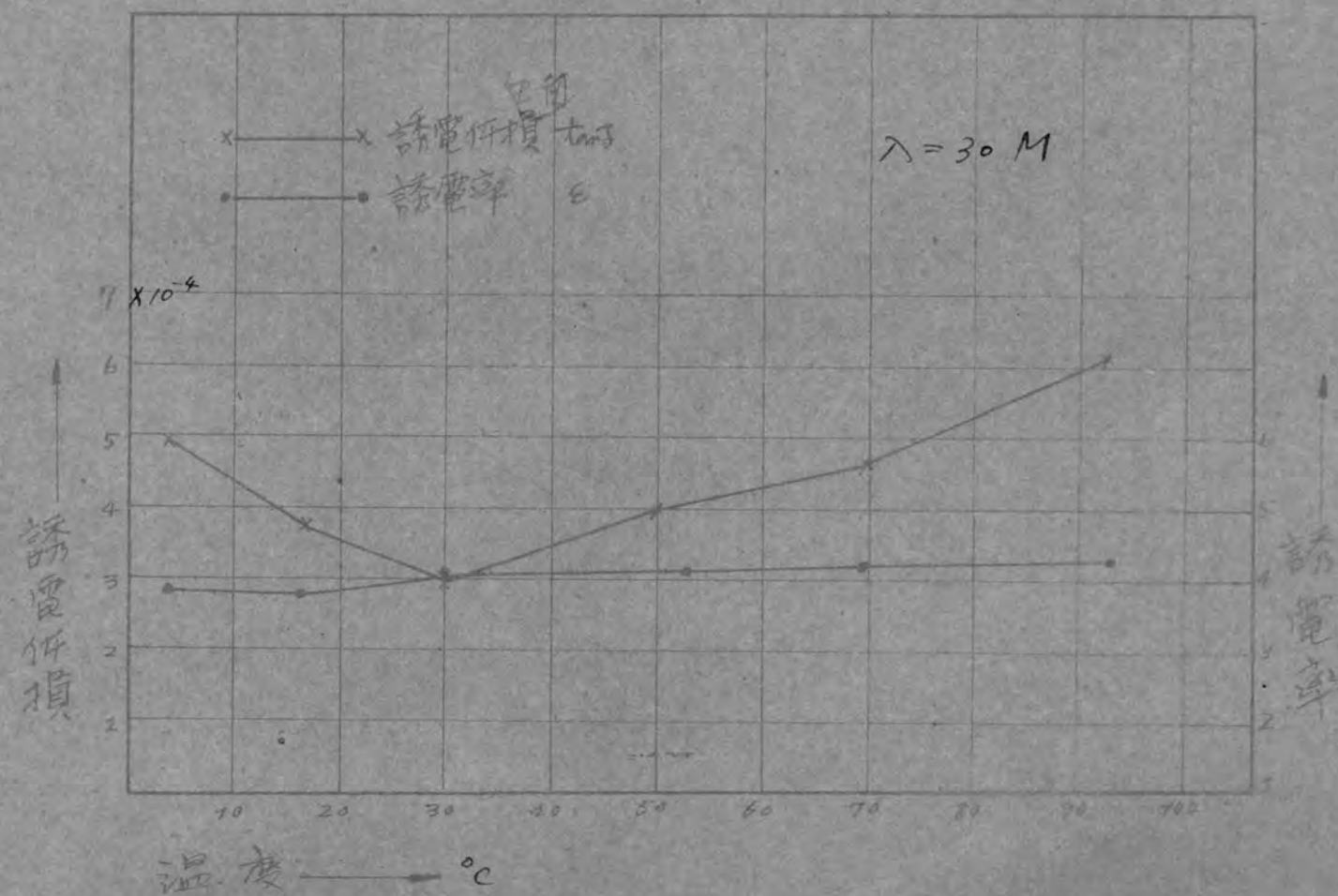




高周波の高電圧下に於ける

木材の特性

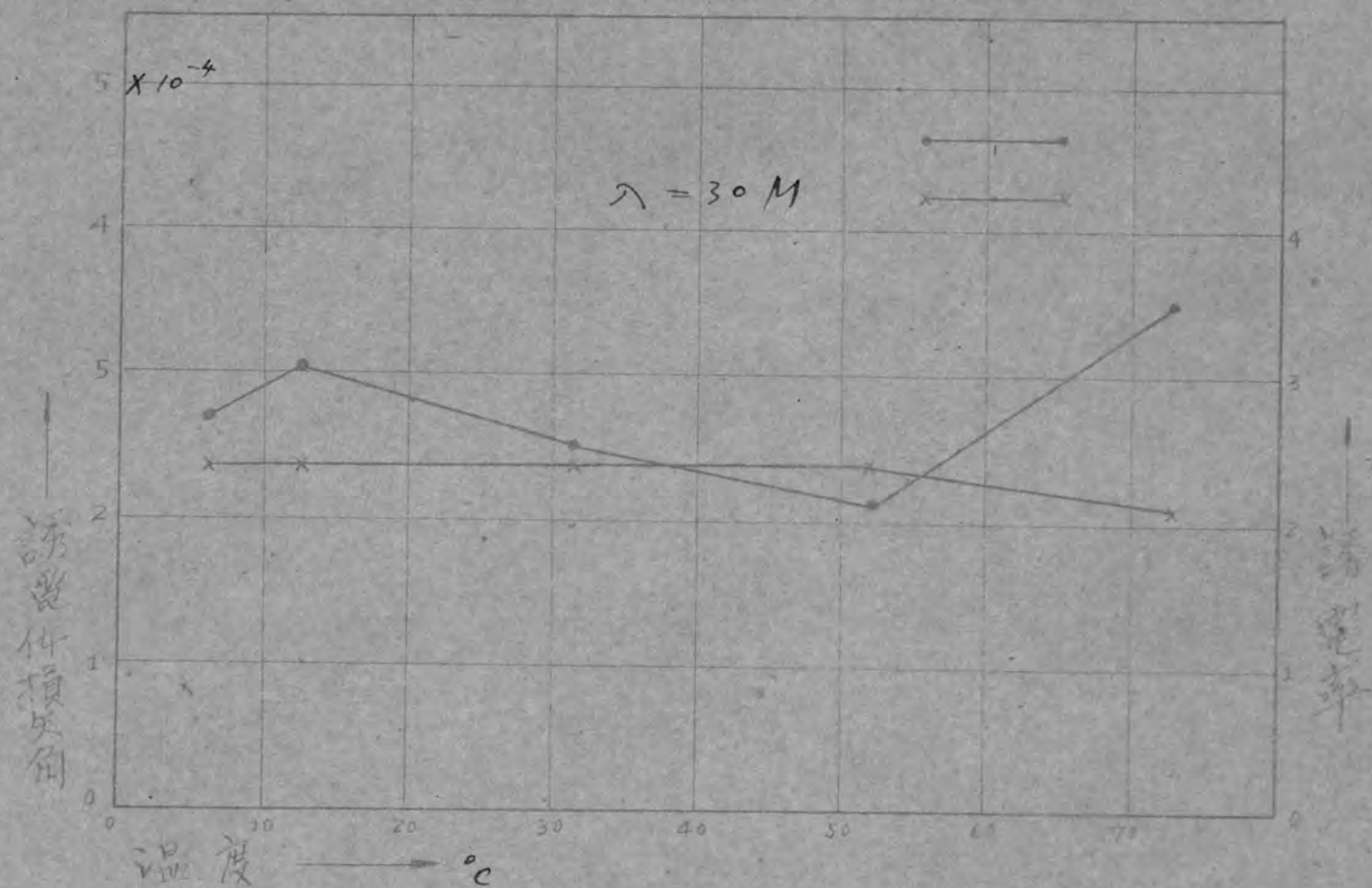
ポリスチロール誘電体損失角，温度特性



第 4 図

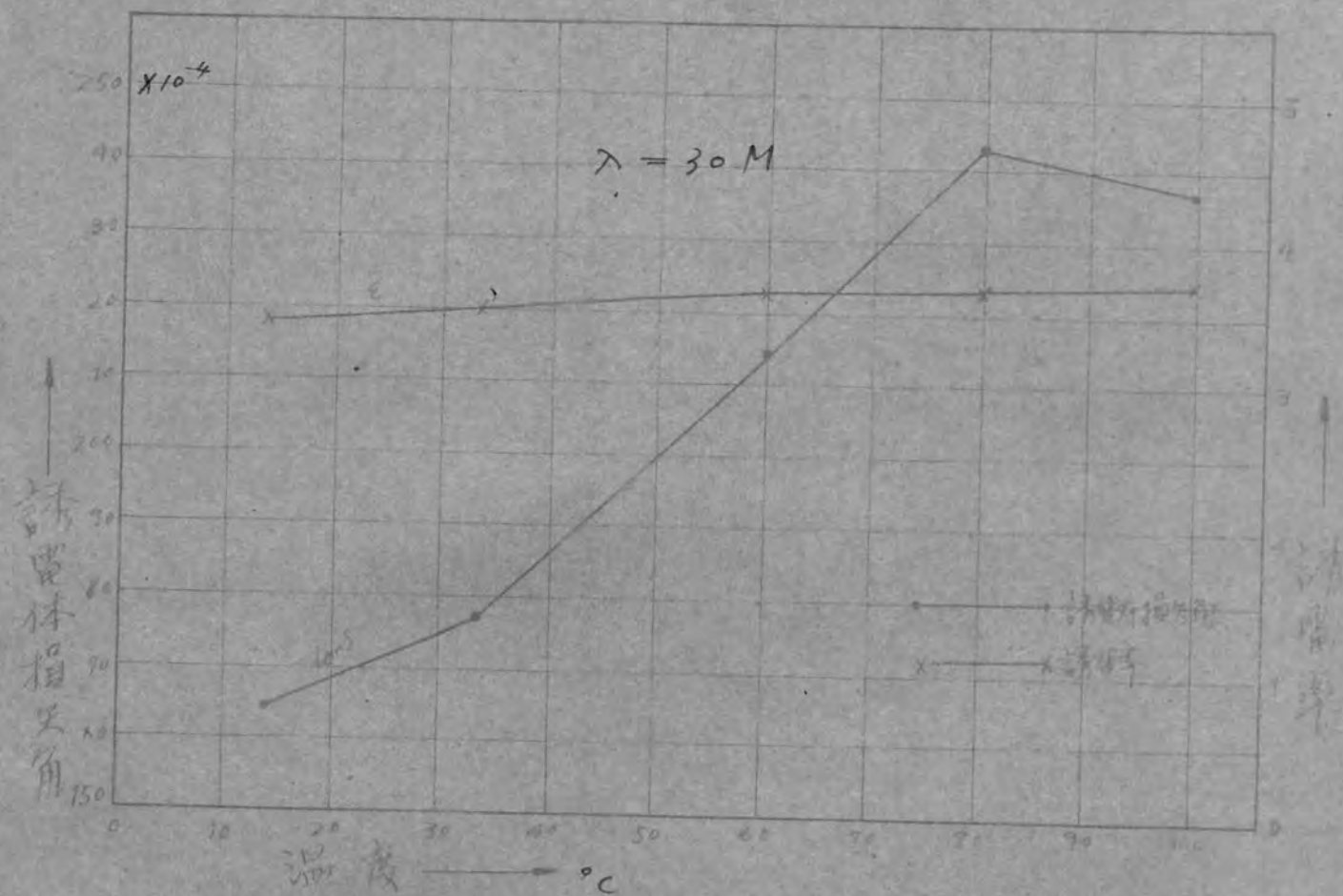


# ポリエチレン 誘電係数 温度特性



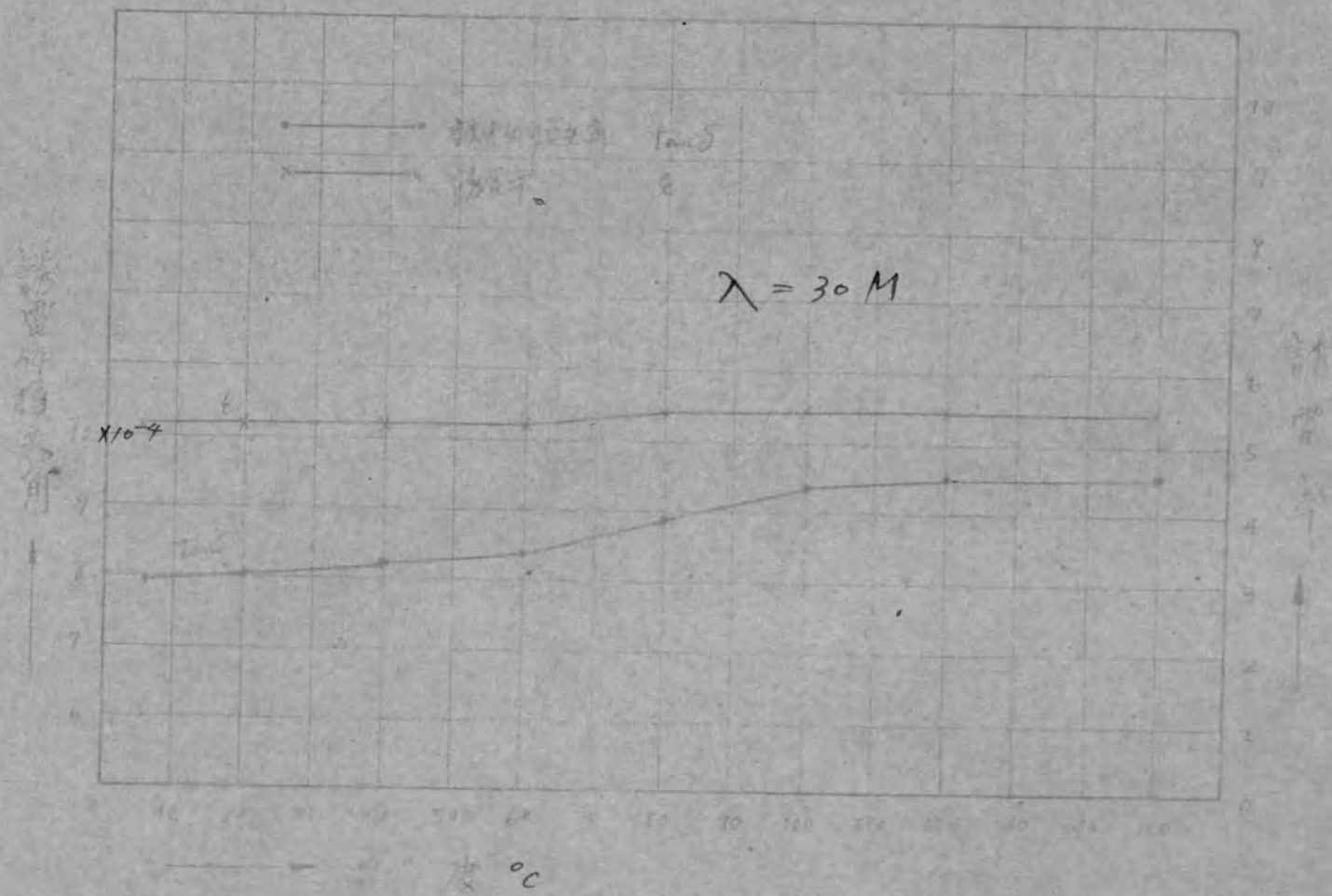


# 有機ガスの誘電率と温度特性

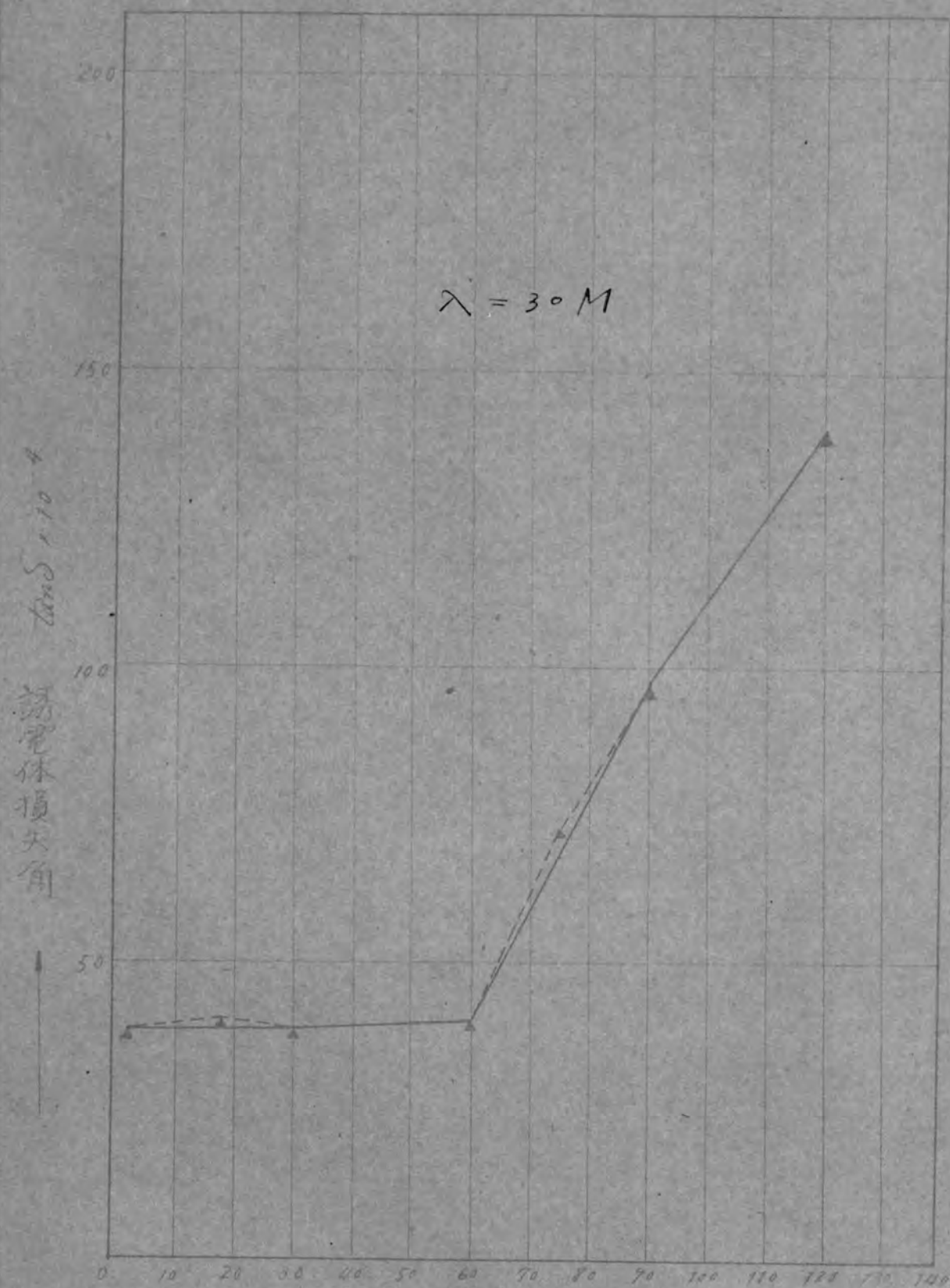


第 43 図

# 入子対誘電体損 温度特性



# 高周波工ホ141誘電体損失と温度特性

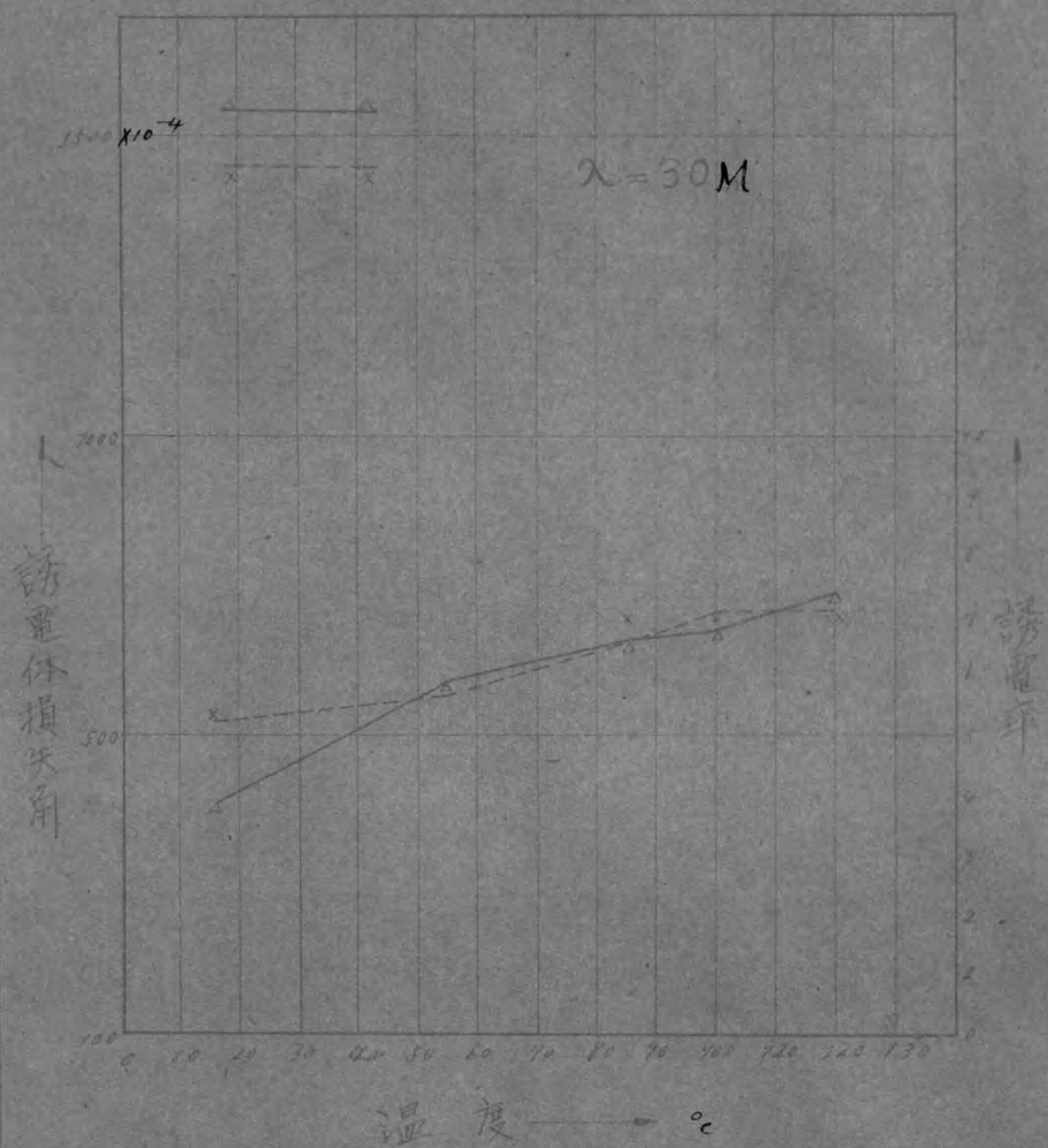


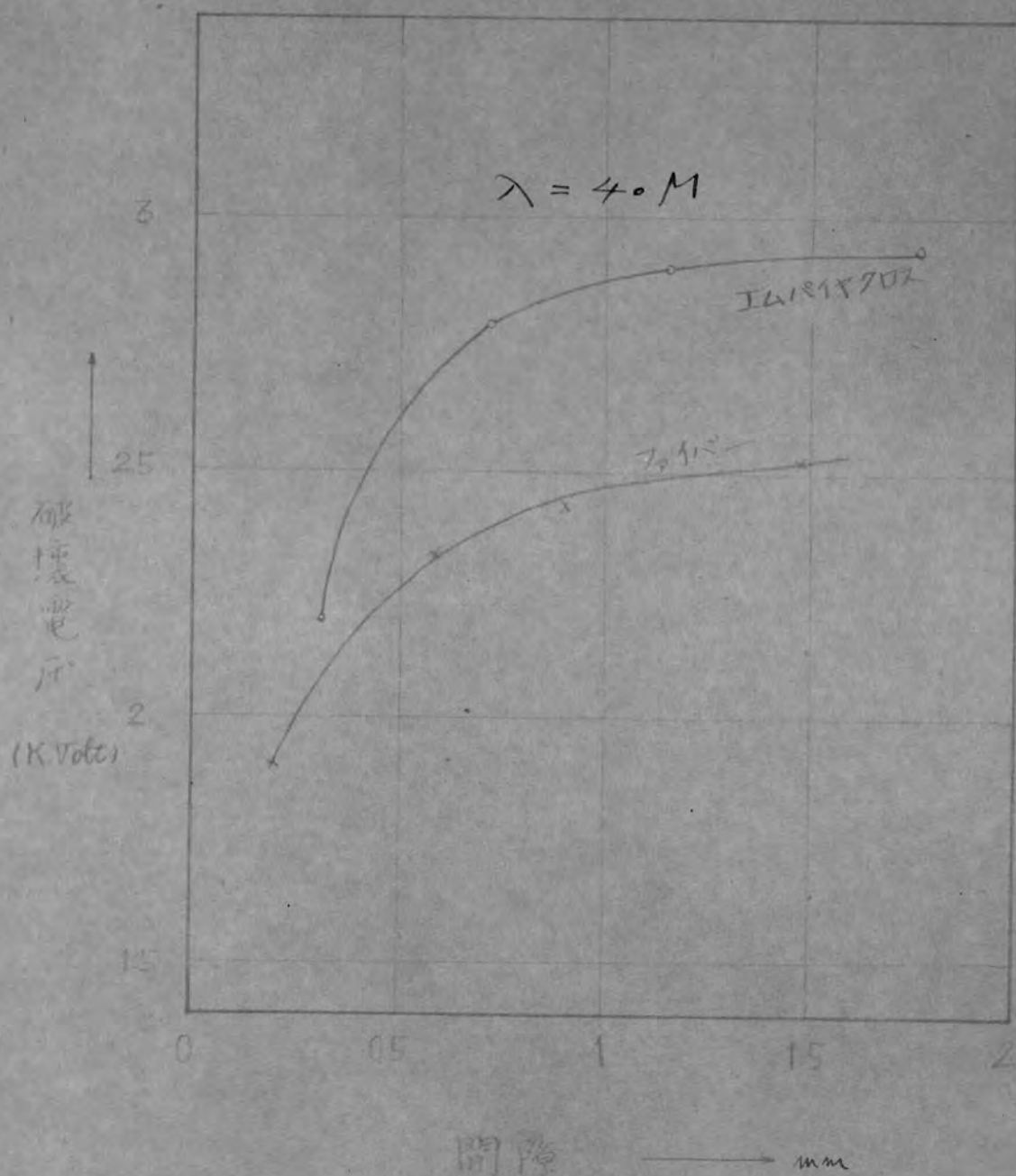
温度 °C

第 45 図

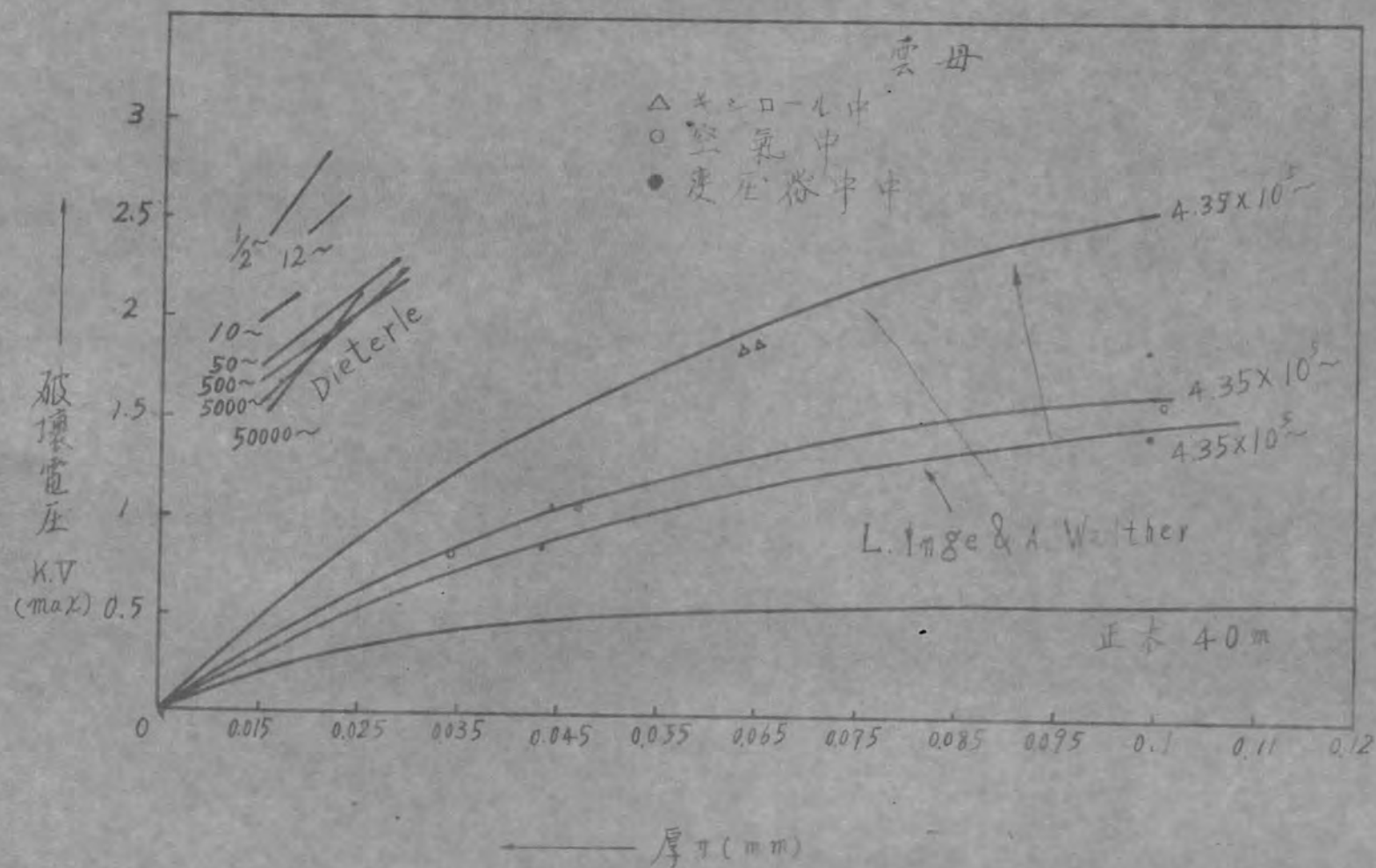


# ベークライト誘電体損失角と誘電率 温度特性





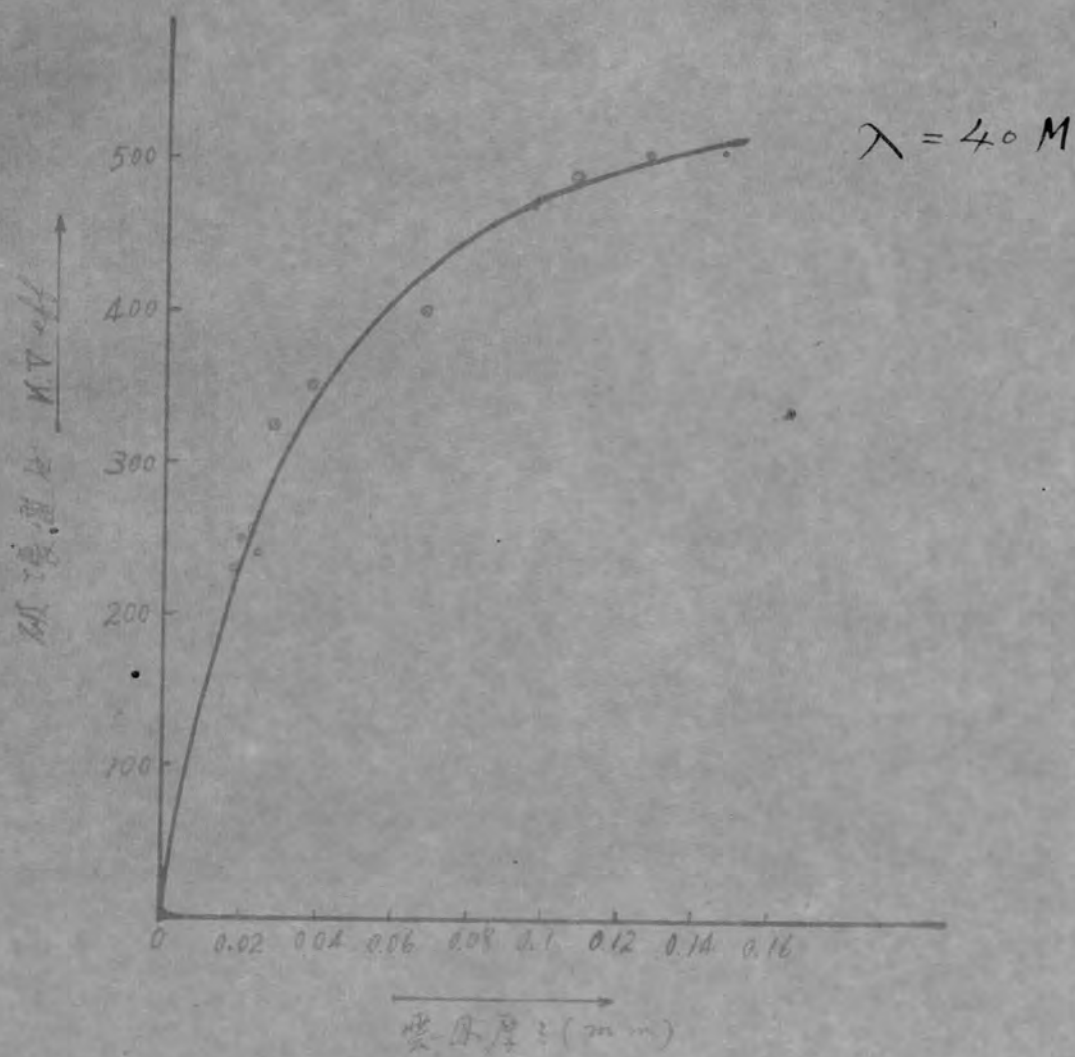
第 47 図



第 48 図

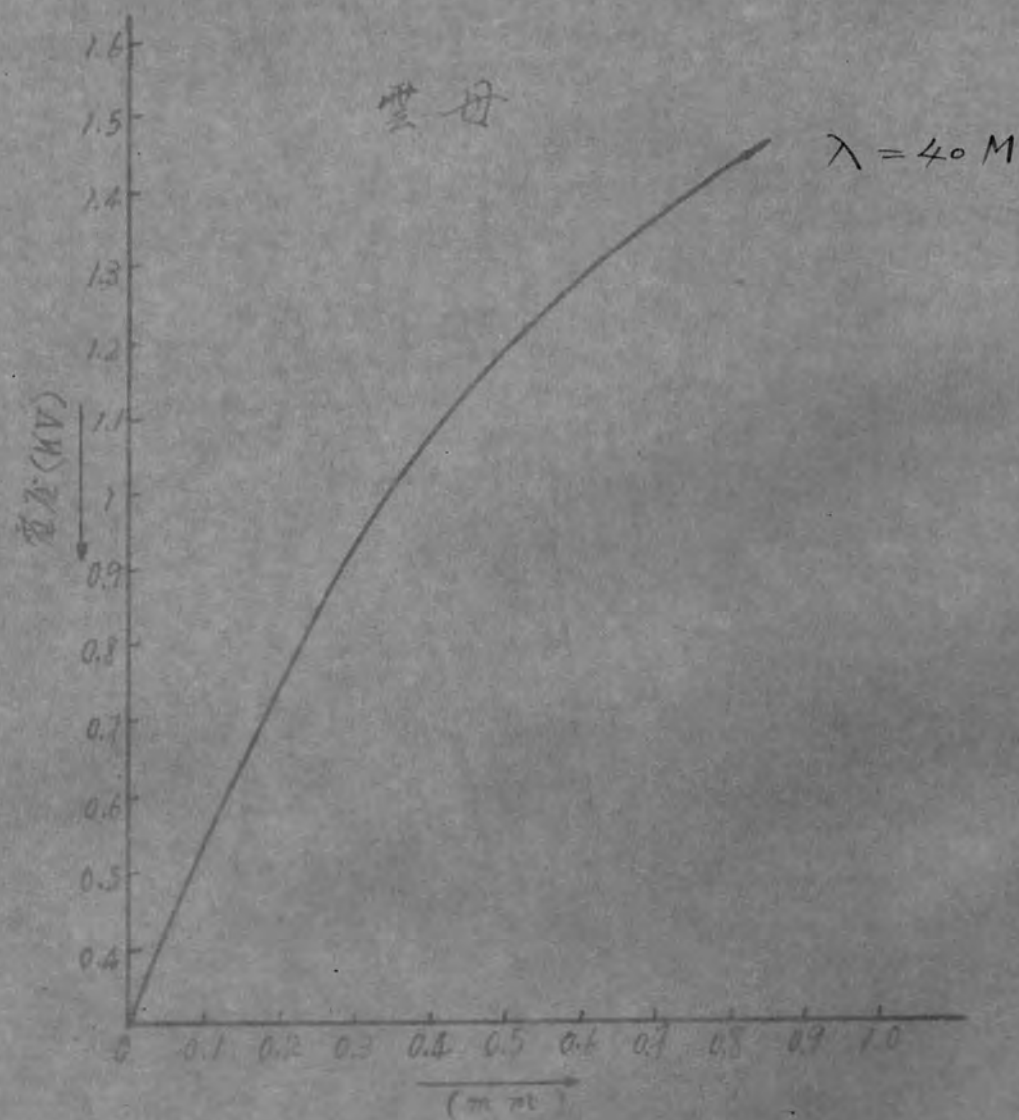
17-2-20

浸在器油中 = 菸叶  
雲母 / 破壞



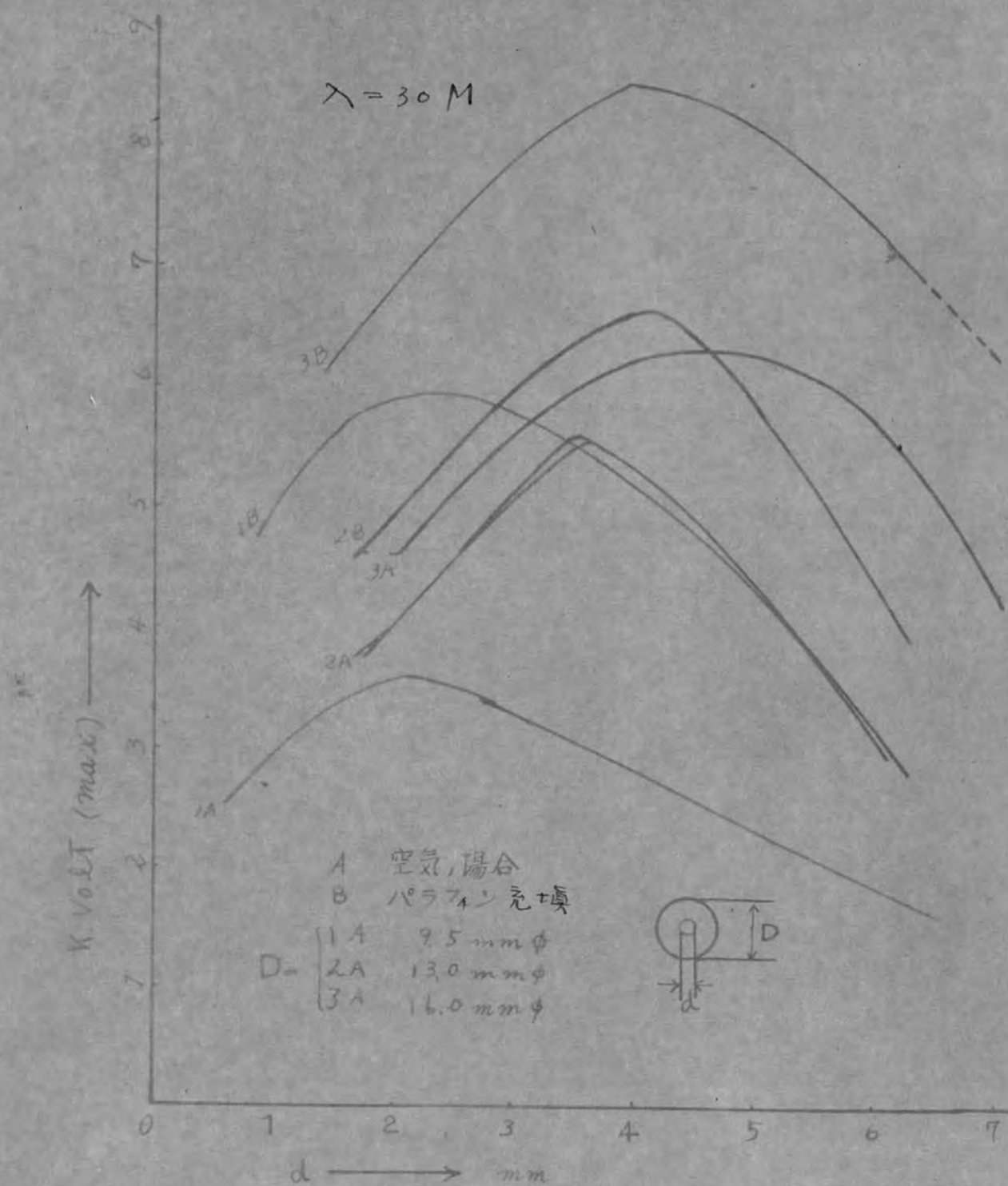
第 49 圖



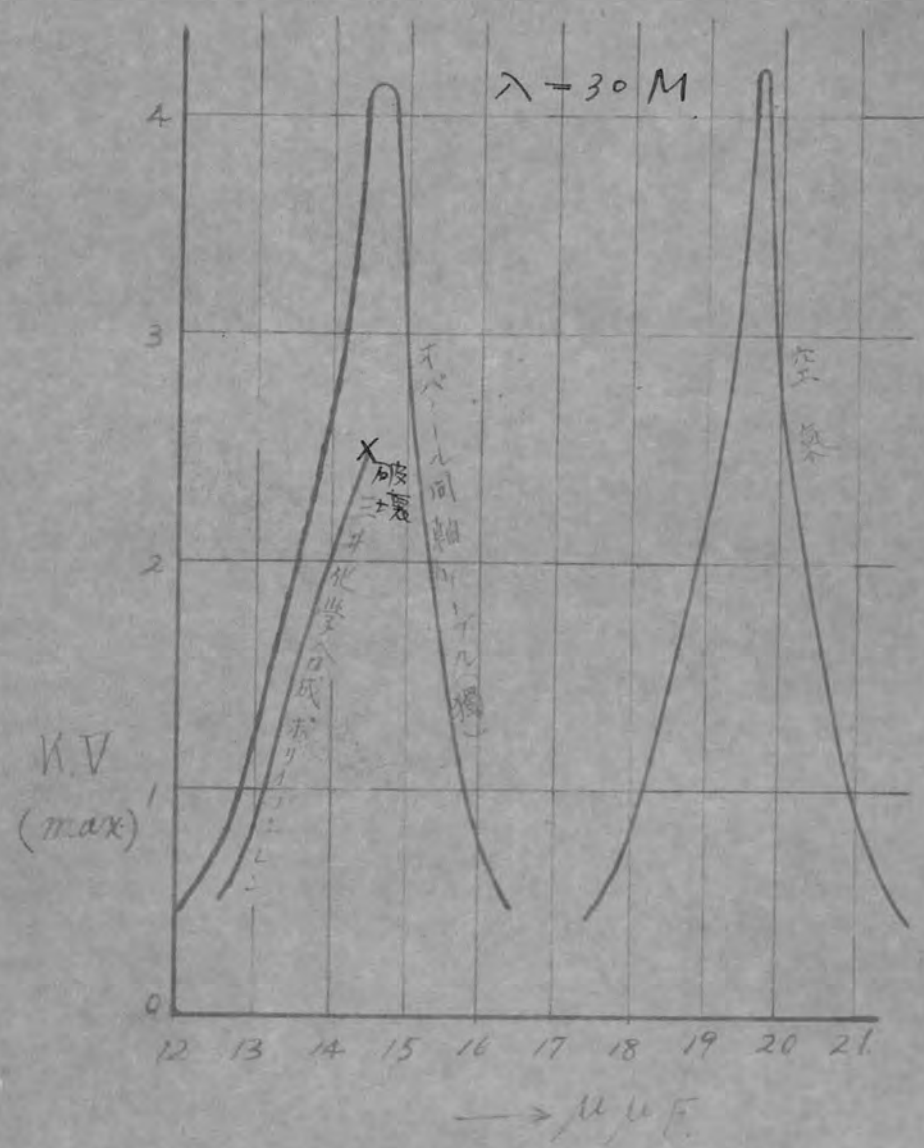


第 50 圖

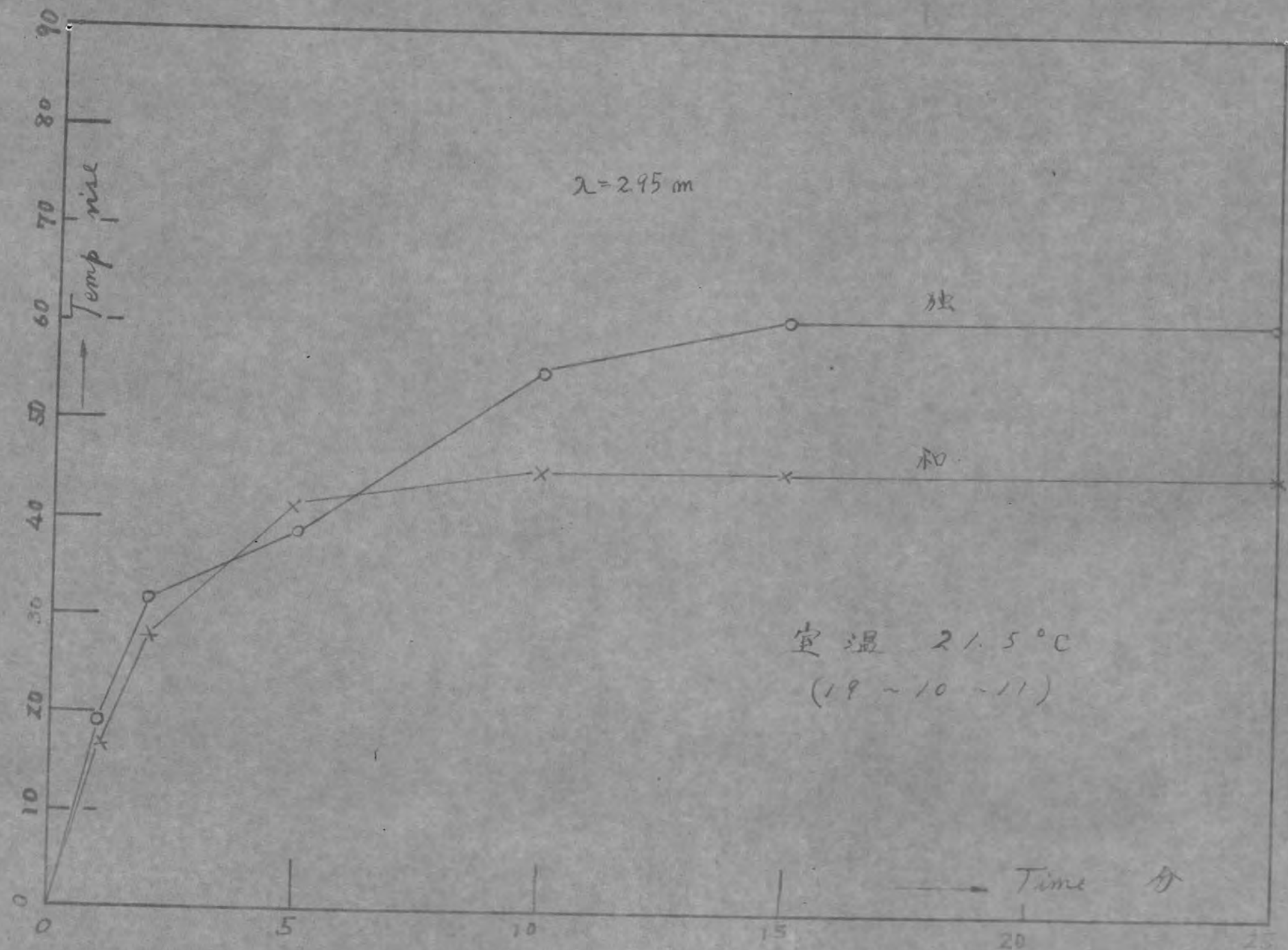


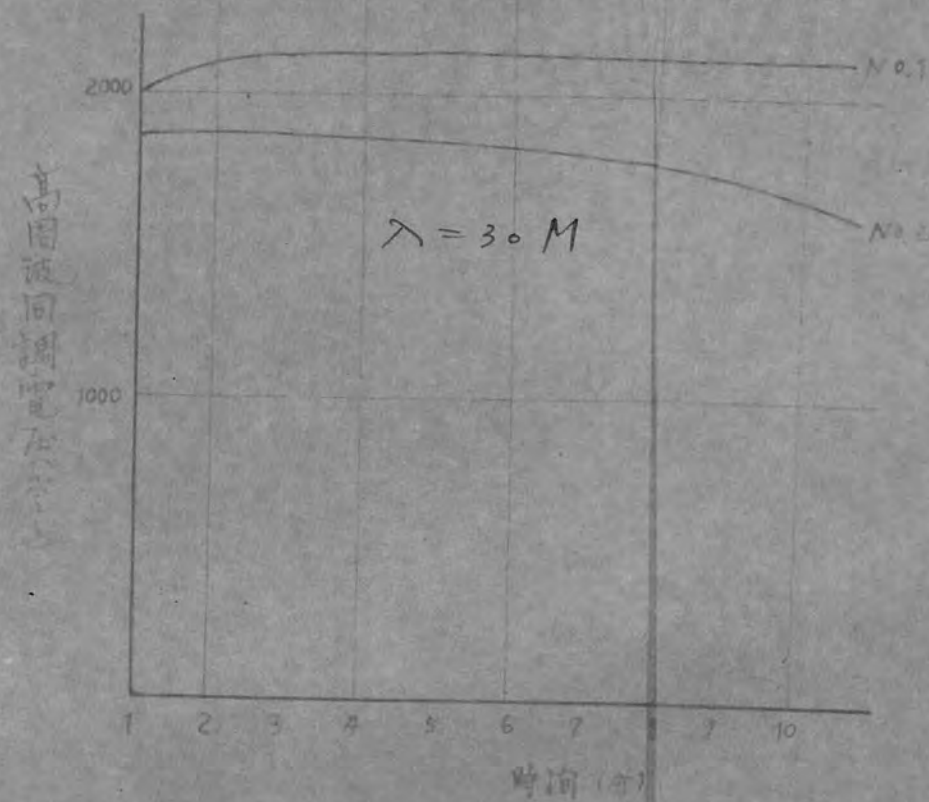


第 51 図



52 図





破壊電圧 約 30 米

NO. 1 4000V

NO. 2 3400V



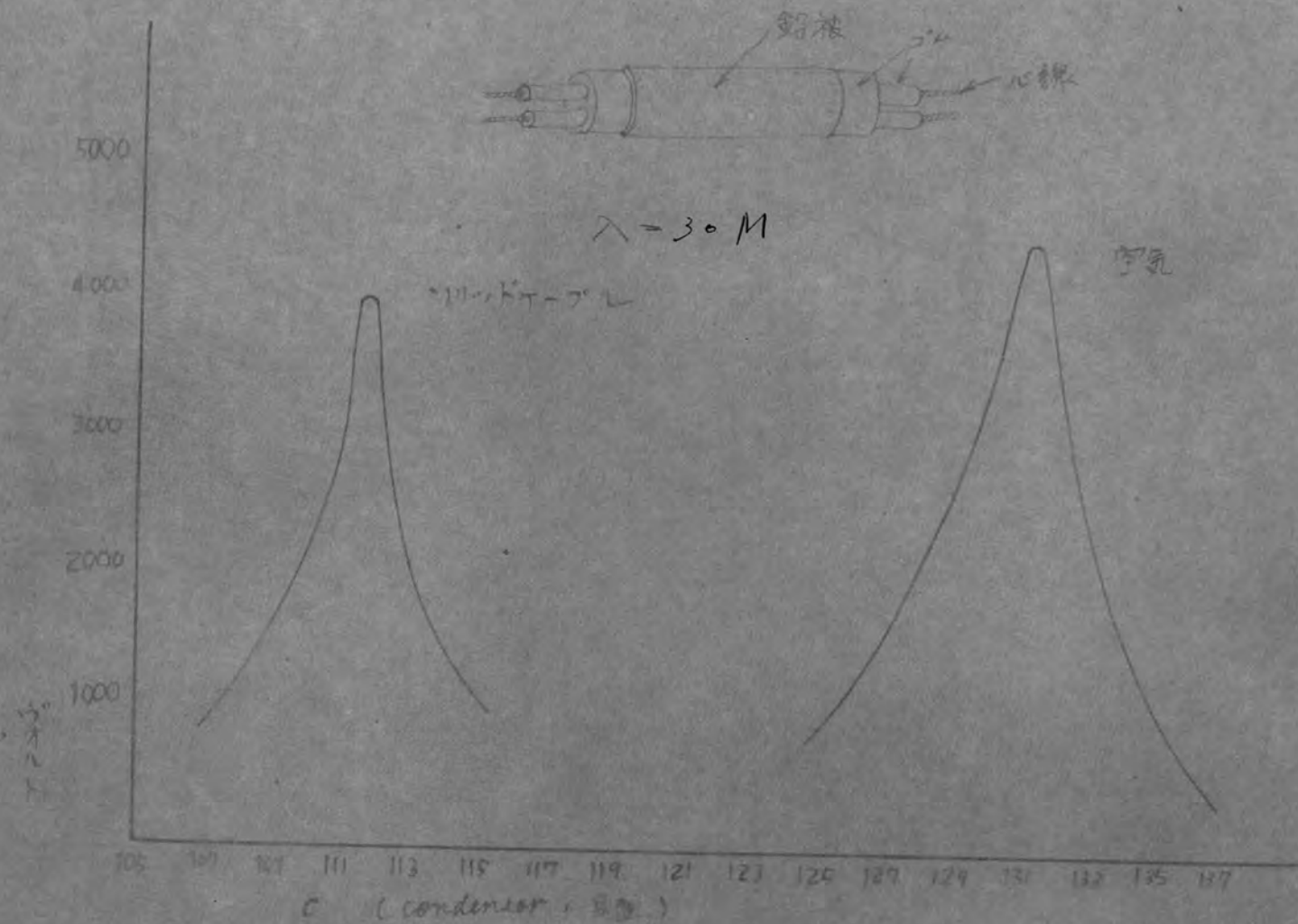
NO. 1

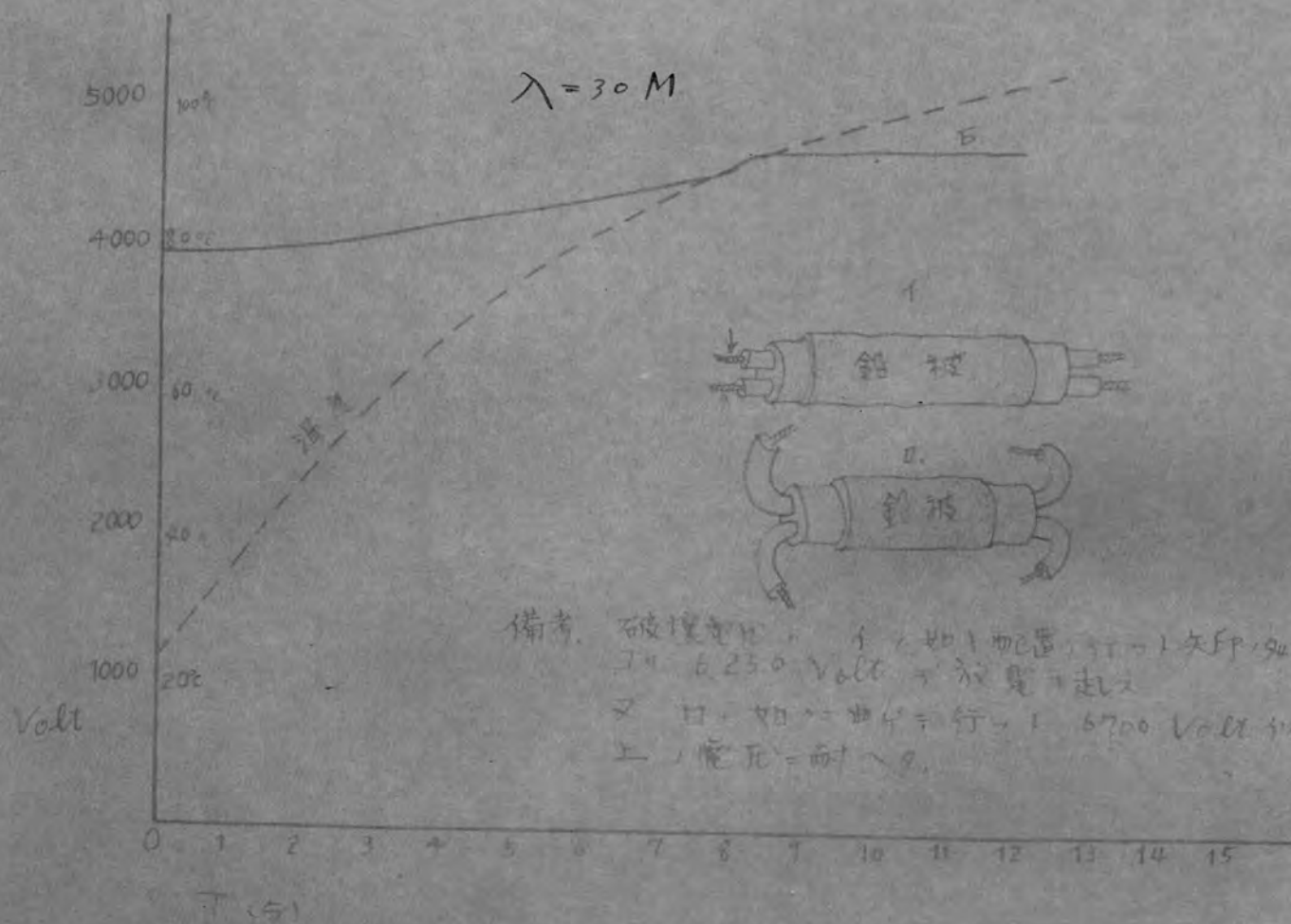


NO. 2

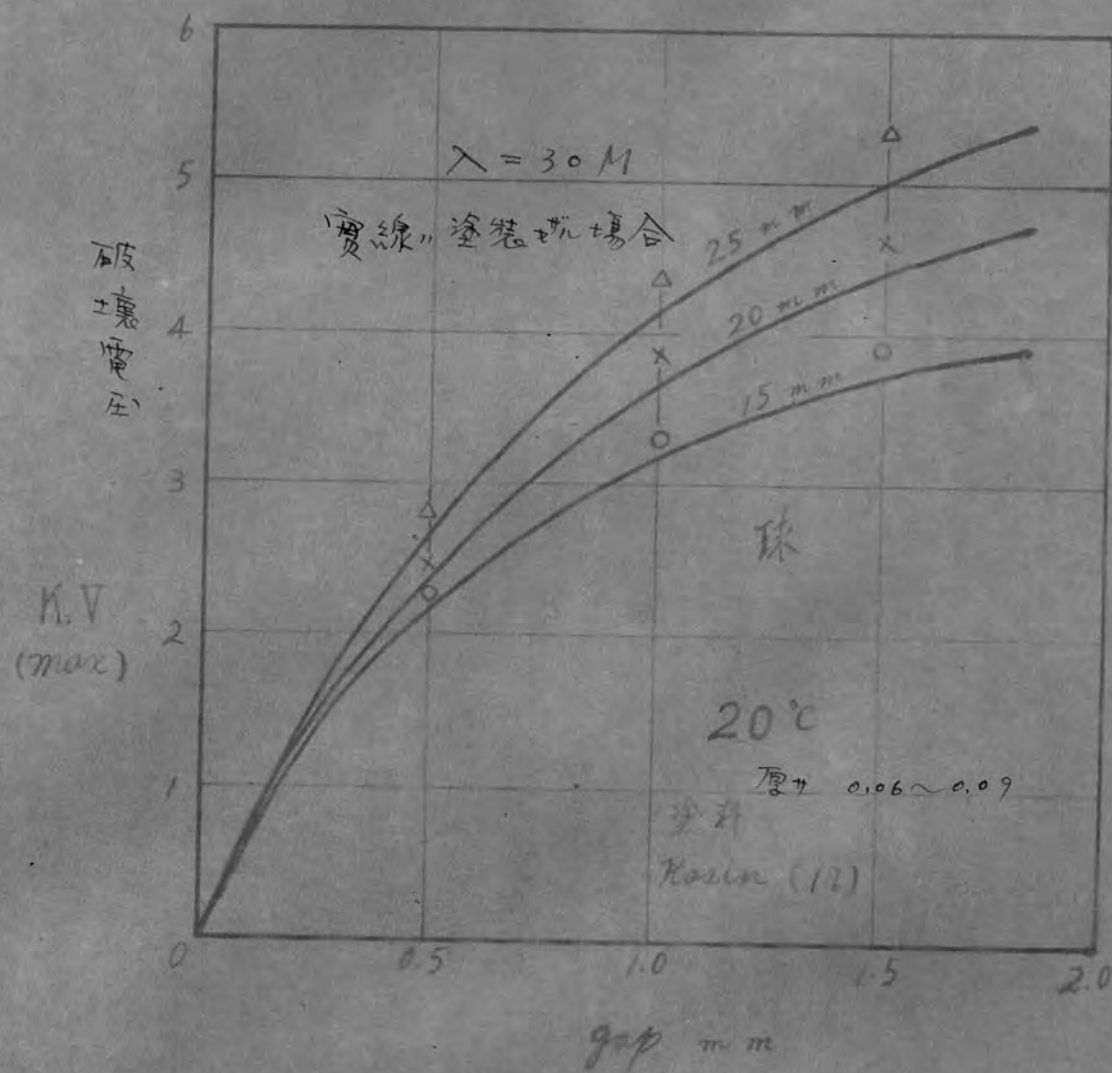
第 54 図





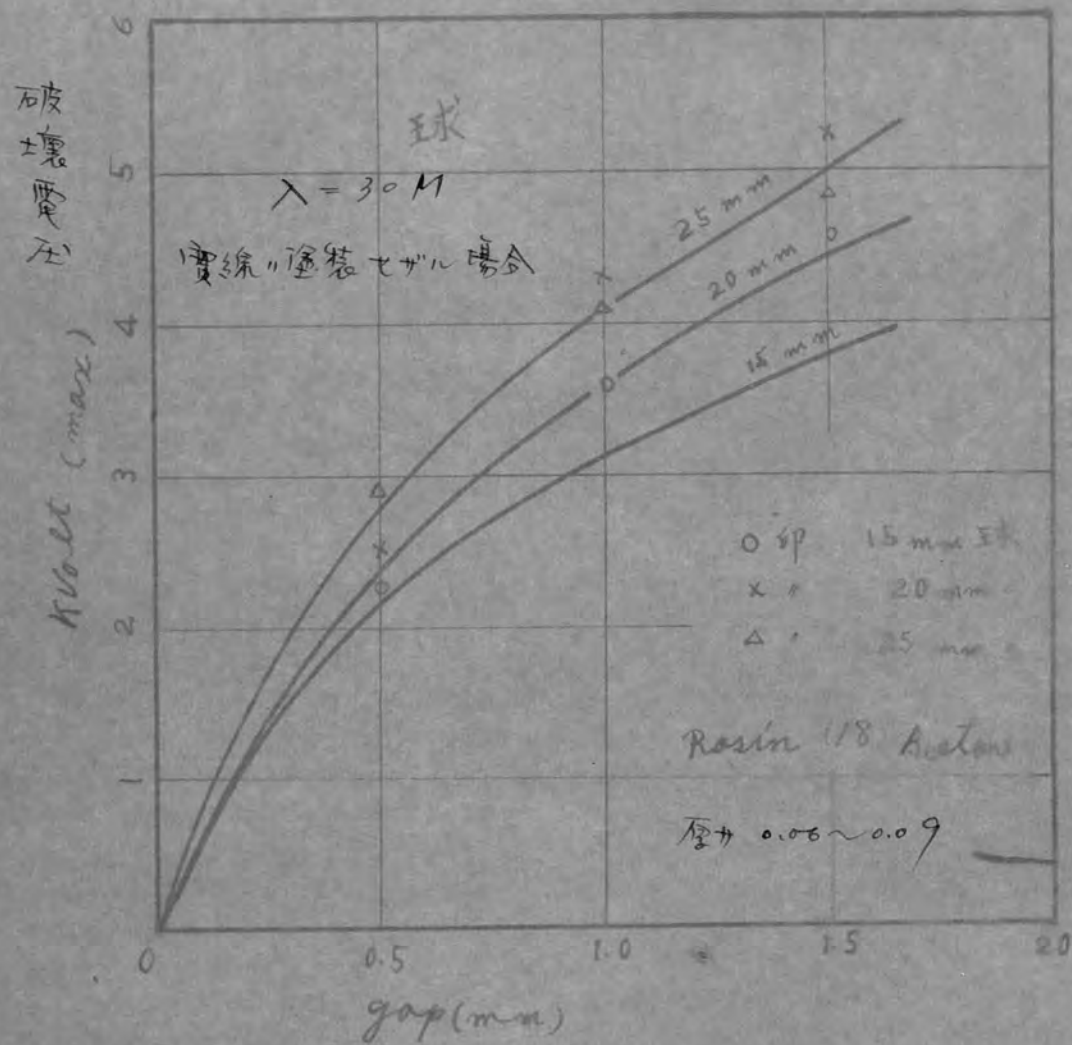


第 56 図



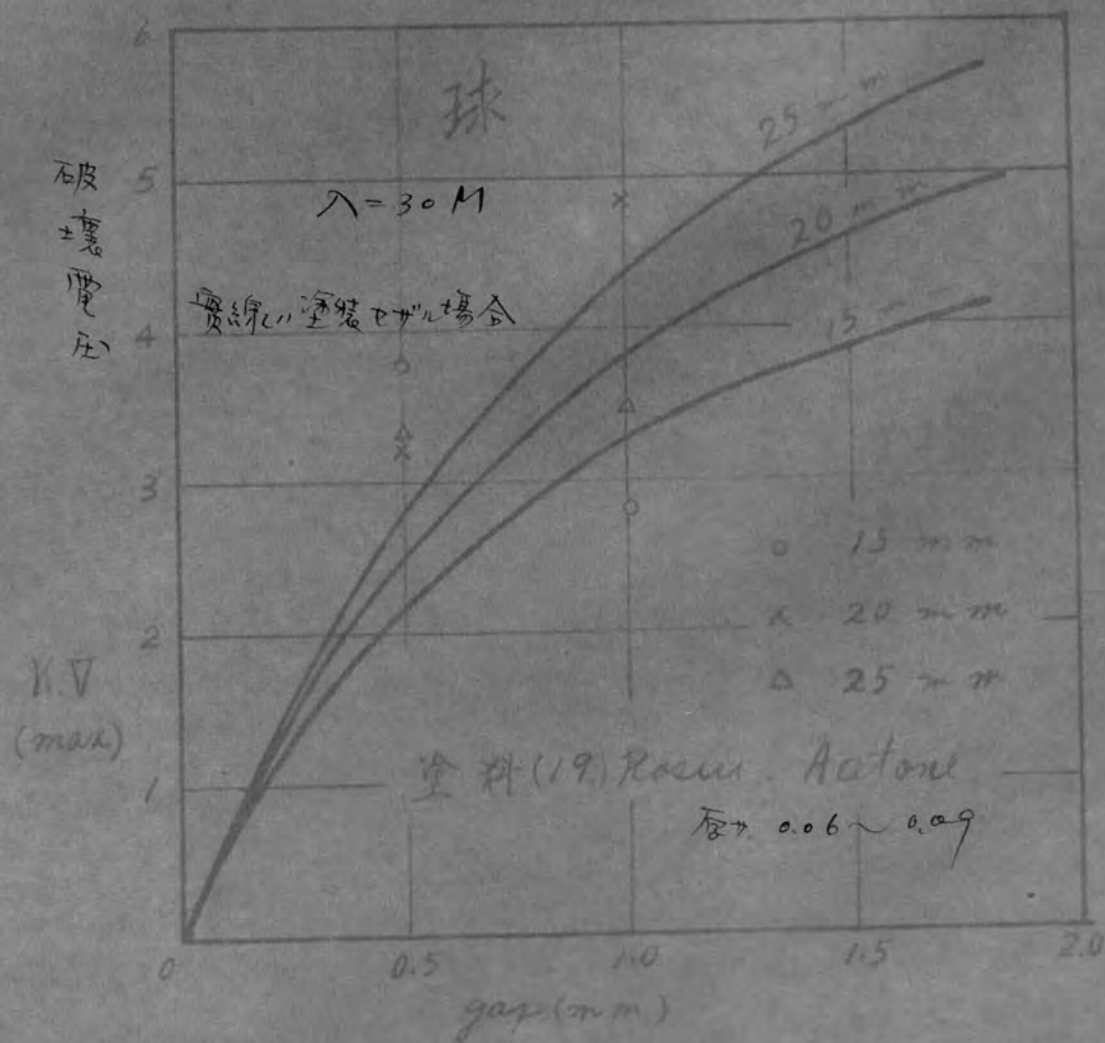
57 図

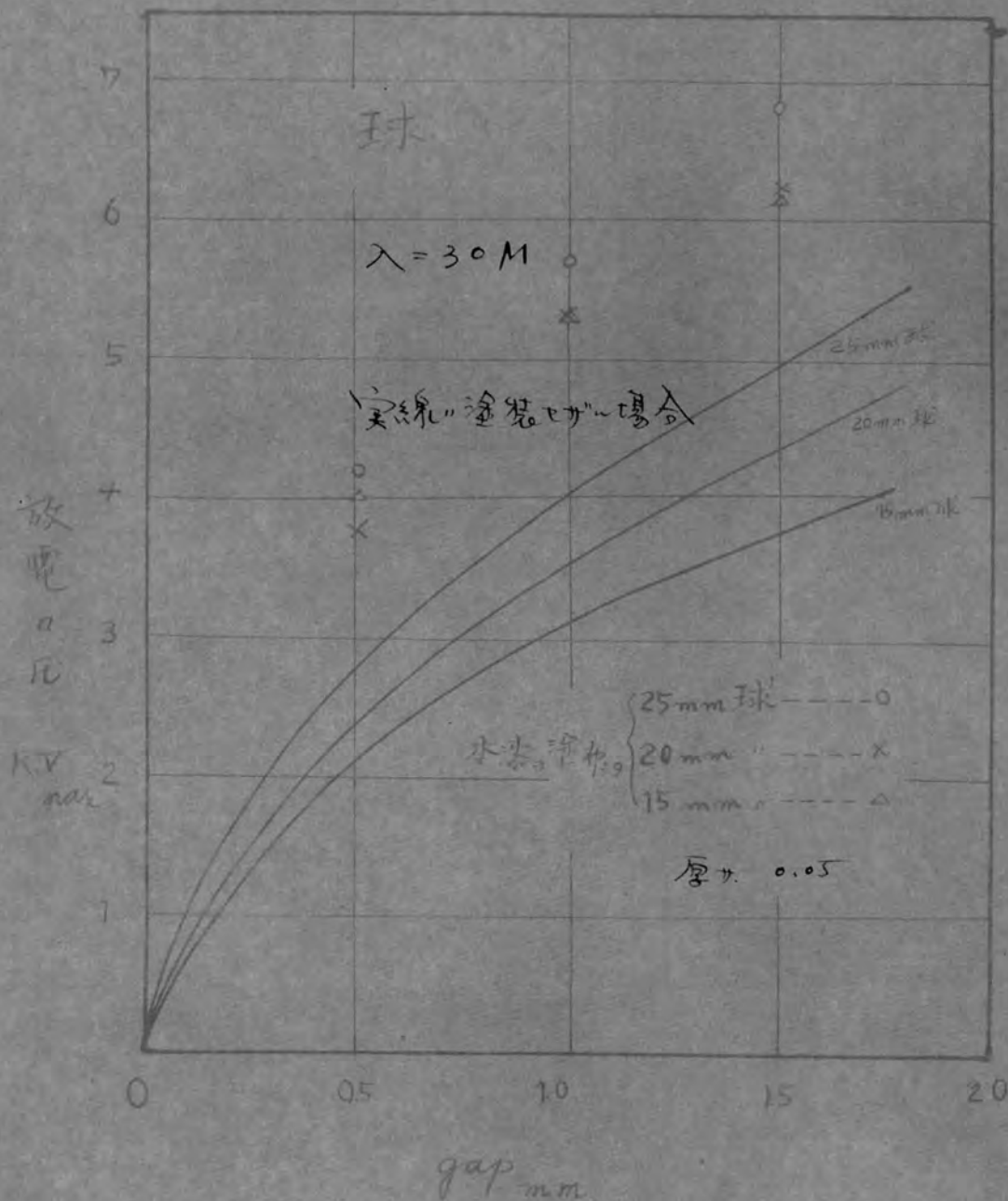


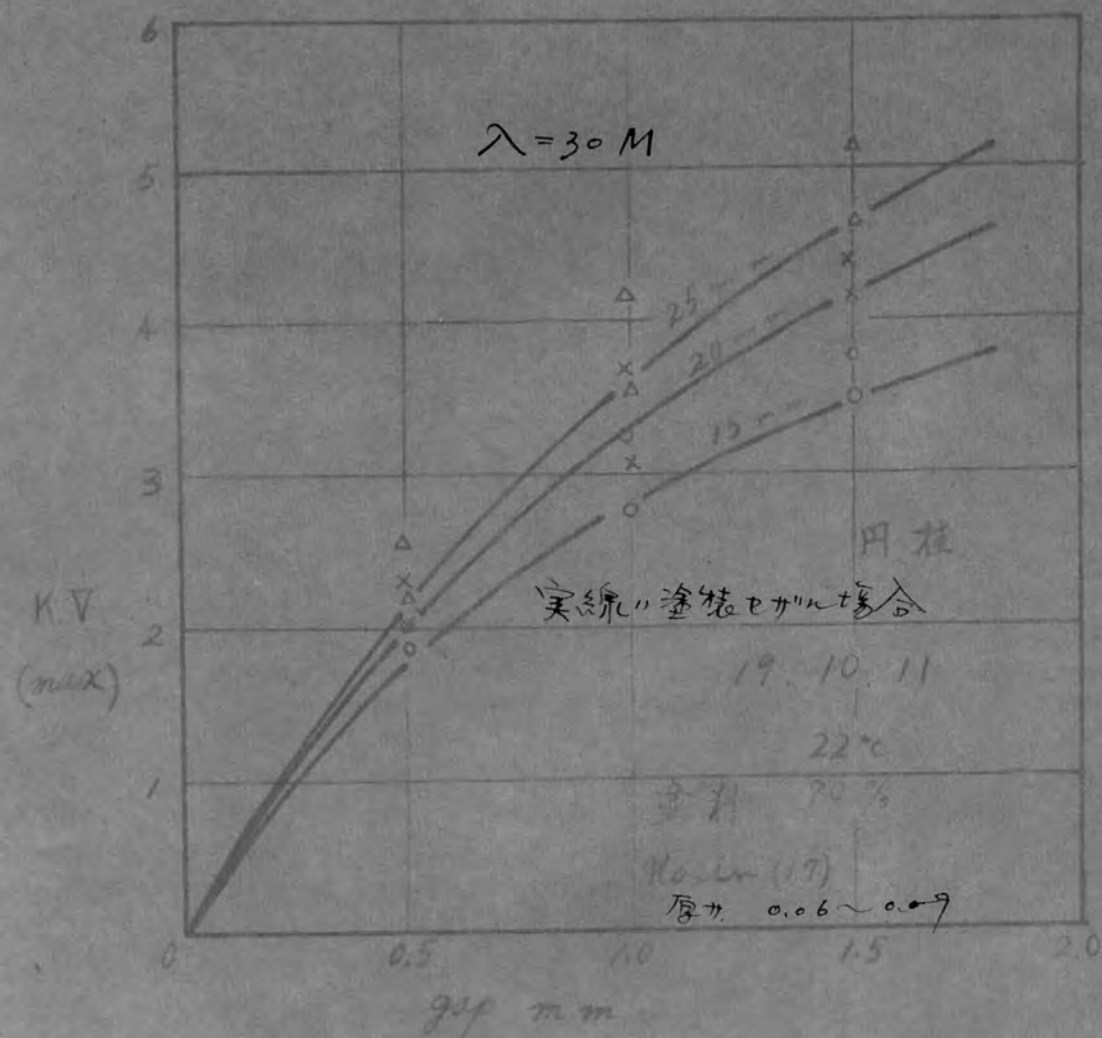


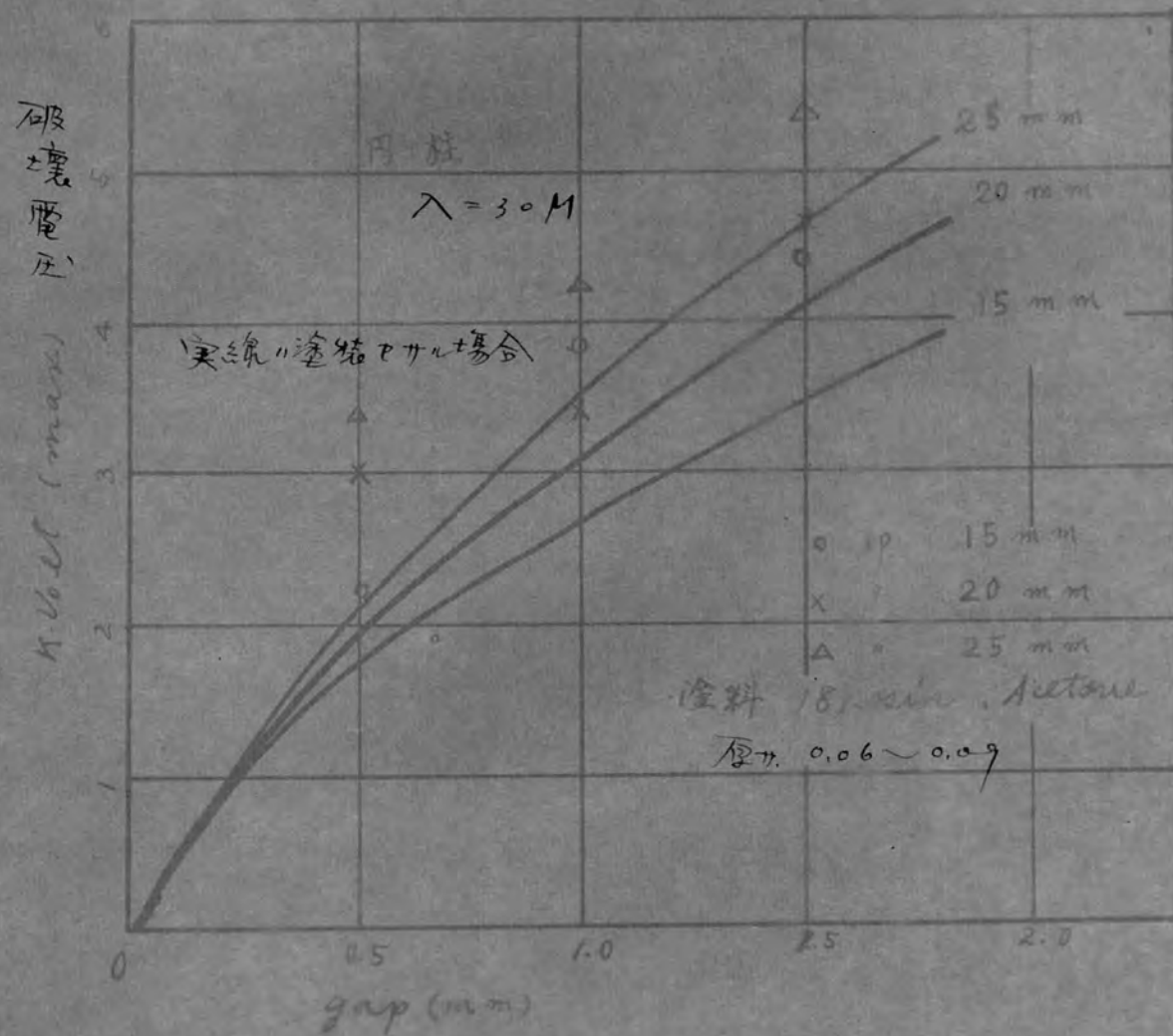
第 58 図



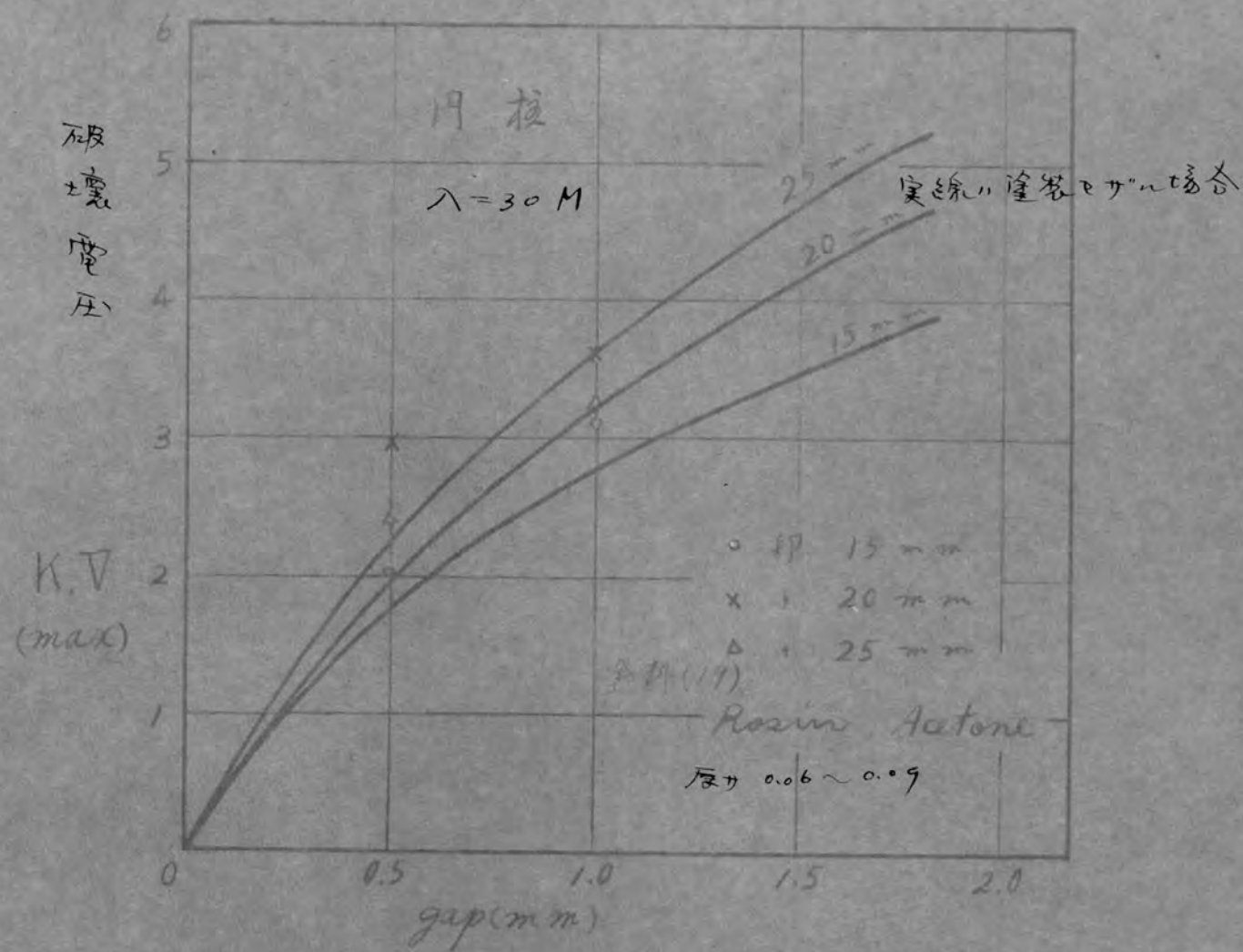




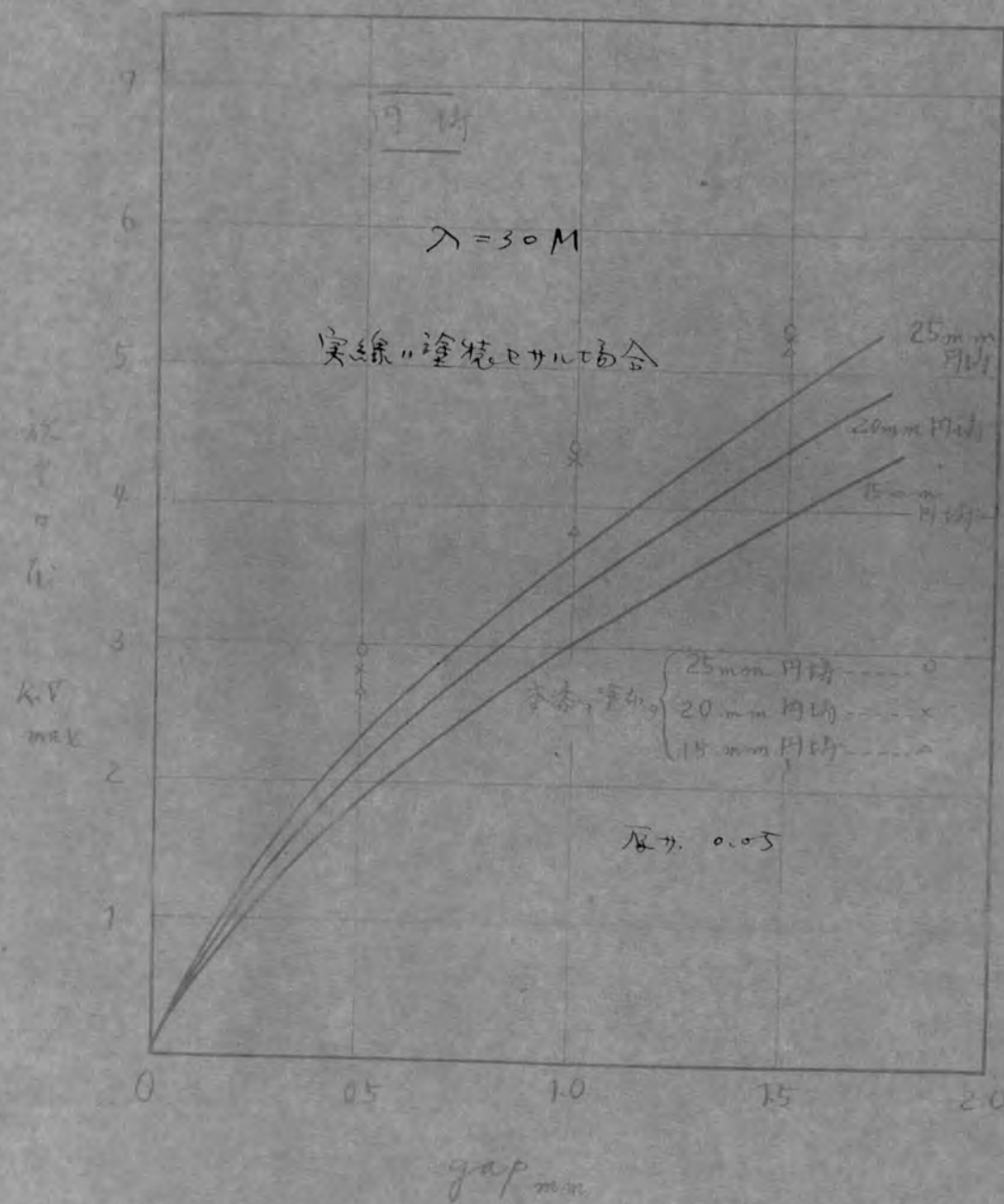








64



第 64 圖

破壊電圧

電圧 (mm)

$$\lambda = 3.0 M$$

実線は塗装中の場合

25 mm

20 mm

15 mm

14 時

No. 17. Rosin Acetone

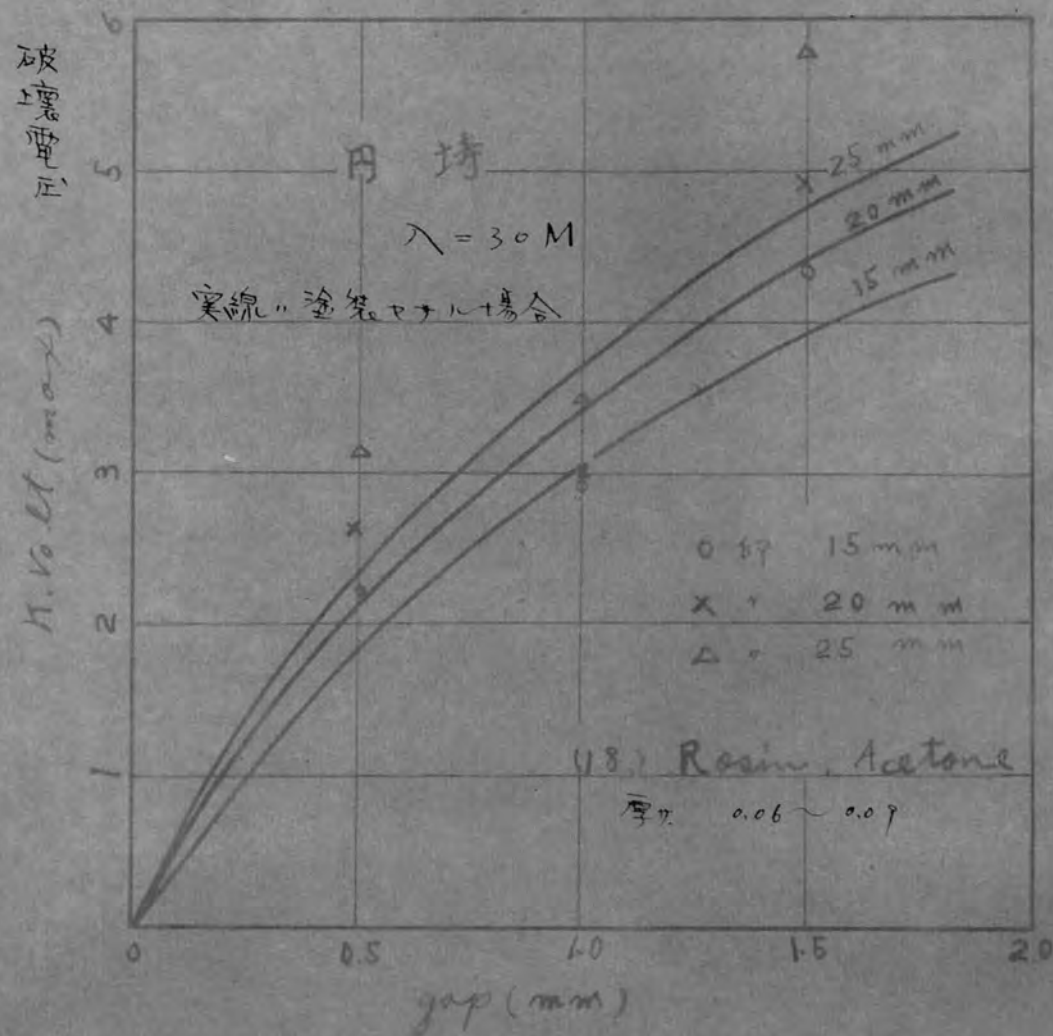
厚  $\pi$  0.06 ~ 0.07



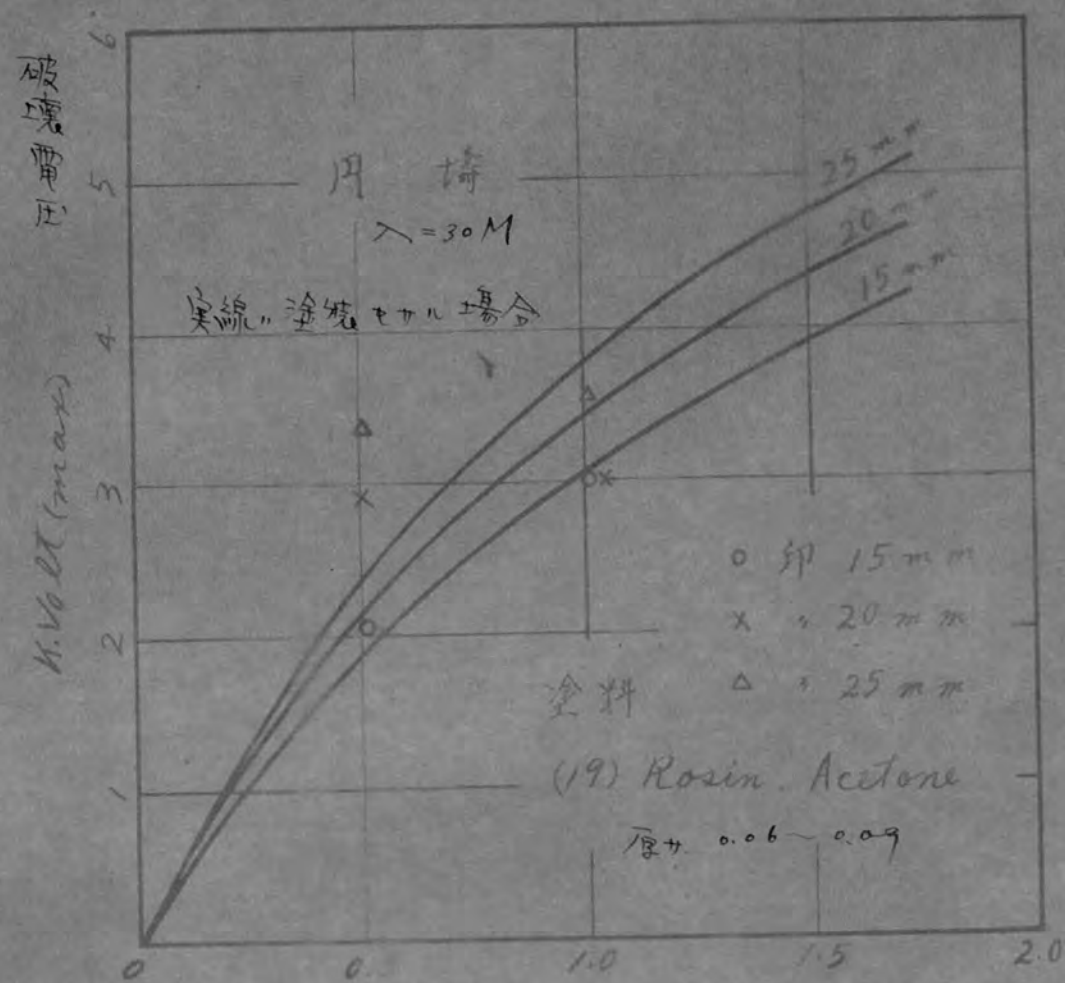
gap mm

第 65 回

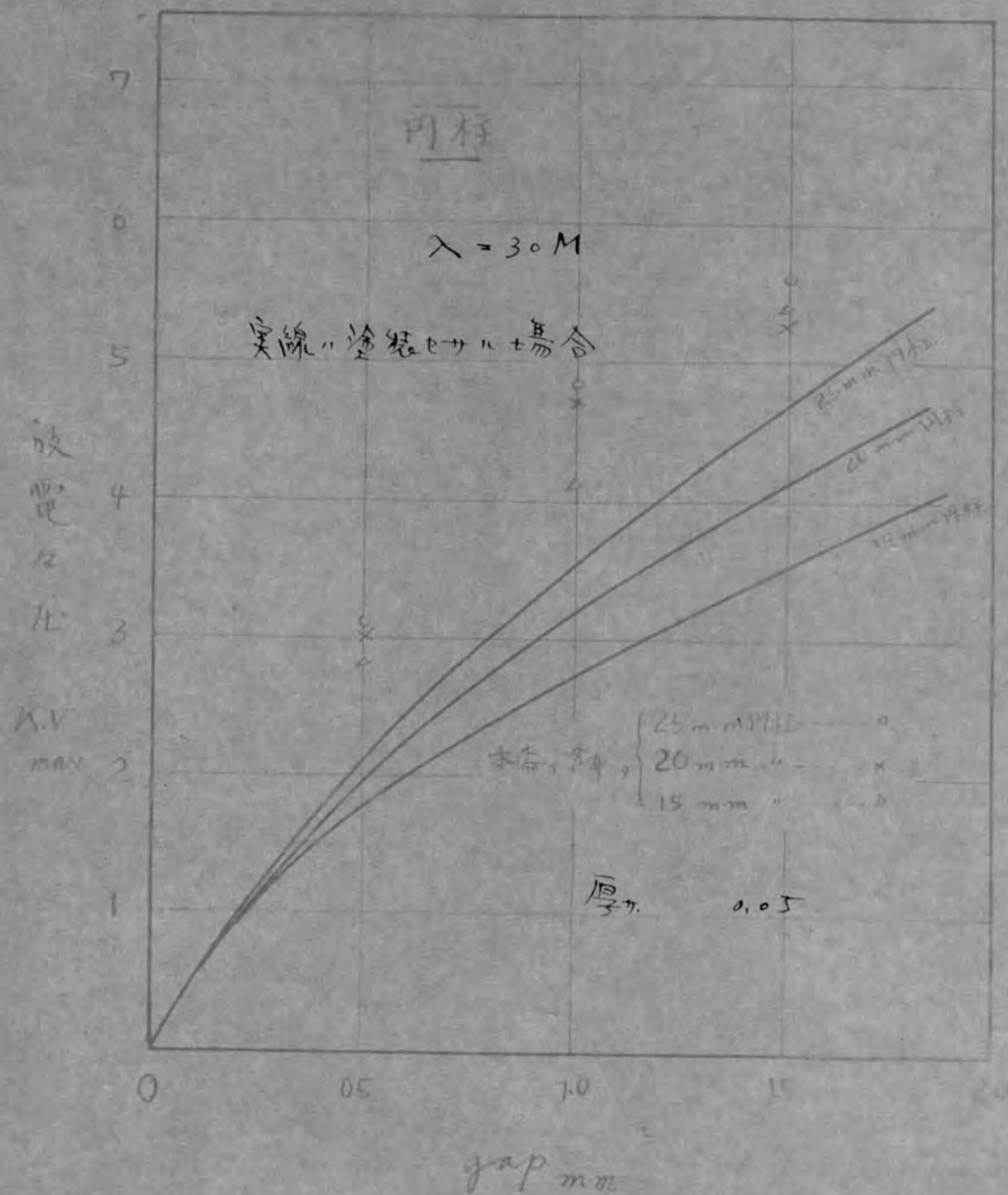








第 67 図



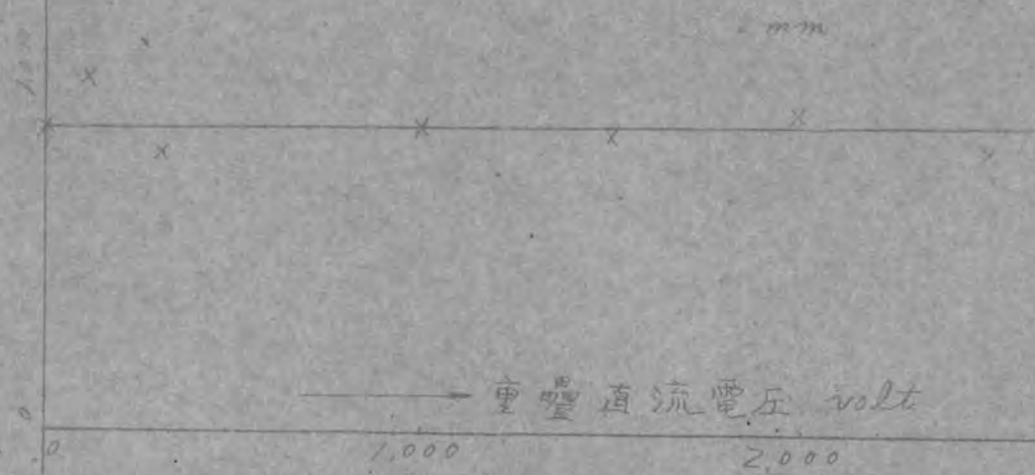
第 68 图

高周波火花電圧 (波高値)

高周波火花電圧 (波高値)

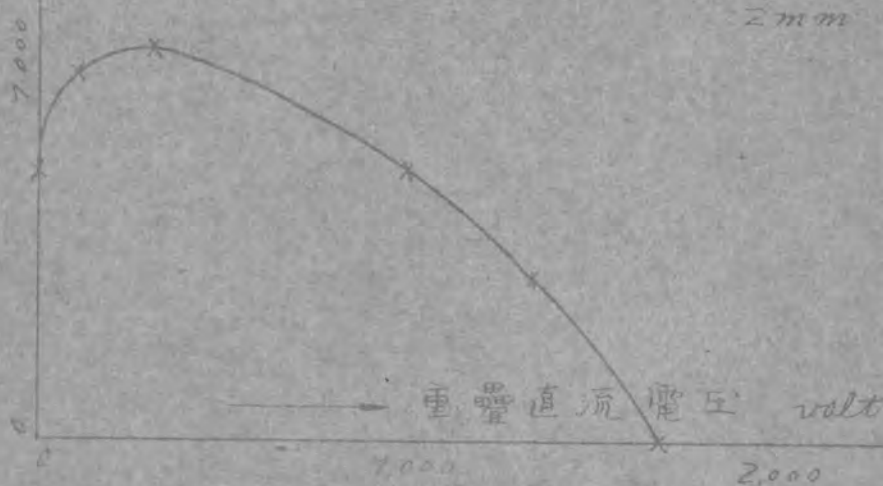
第69圖 (A)

気圧  
100 mm Hg

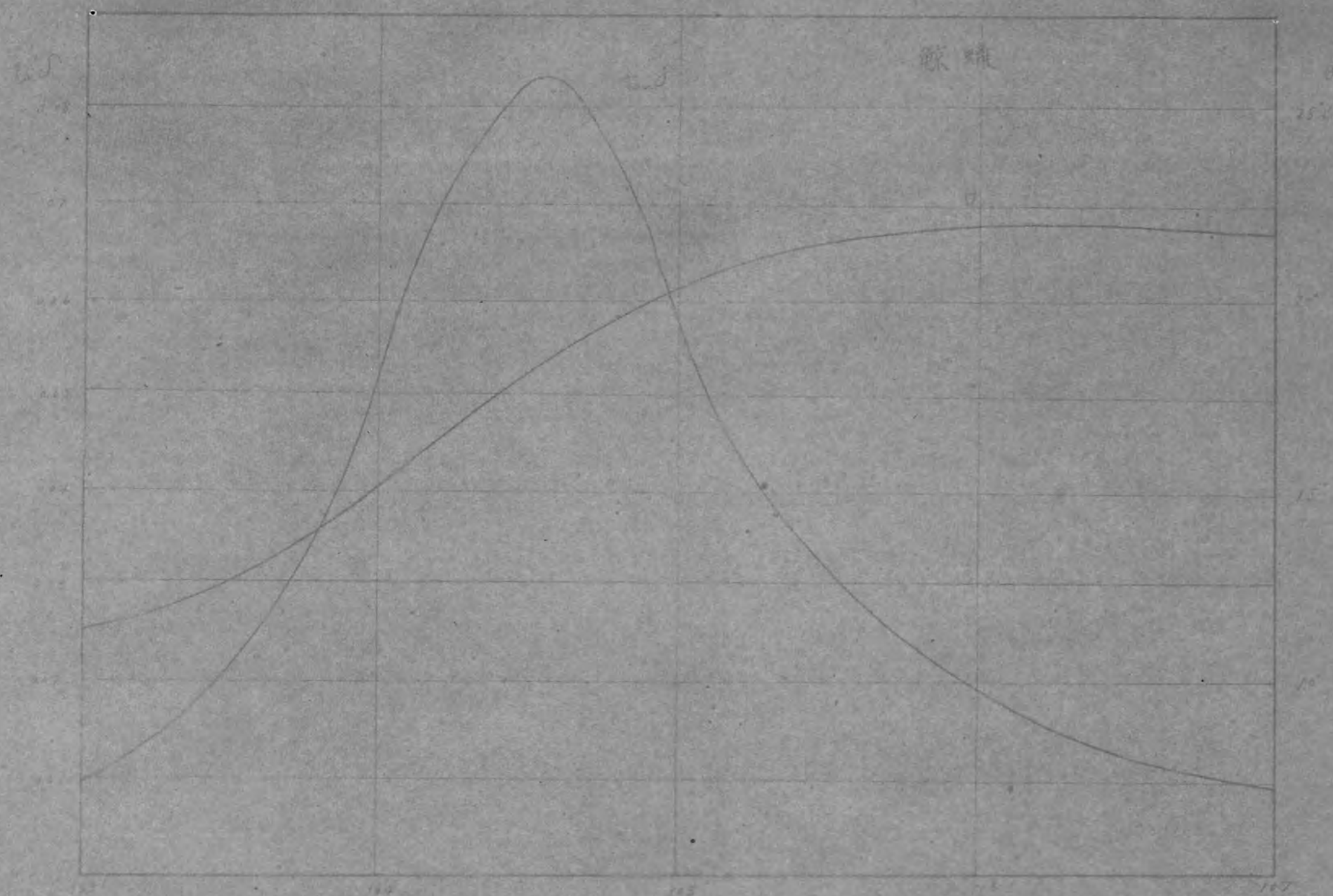


第69圖 (B)

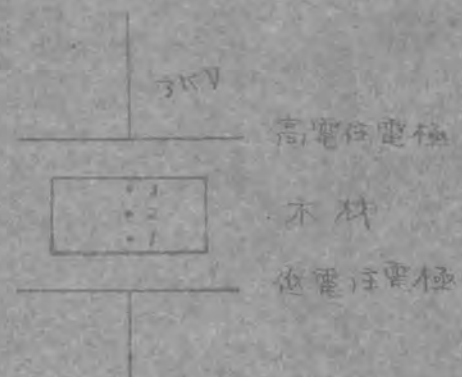
気圧  
100 mm Hg



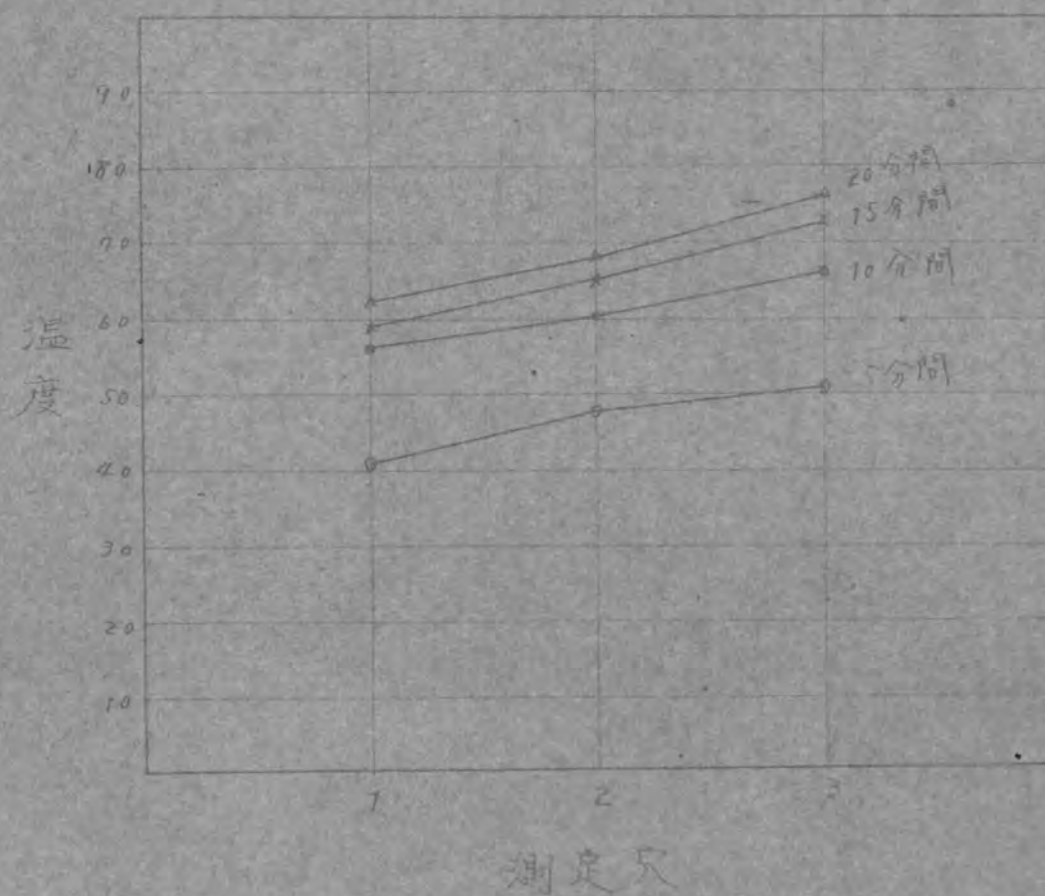




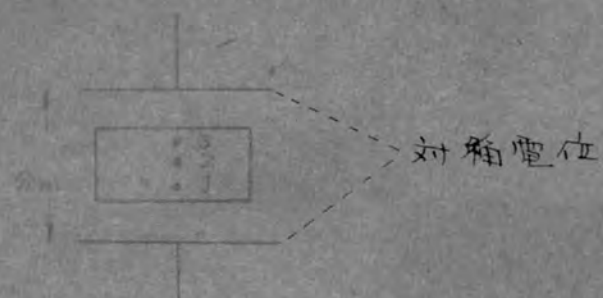
第 70 图



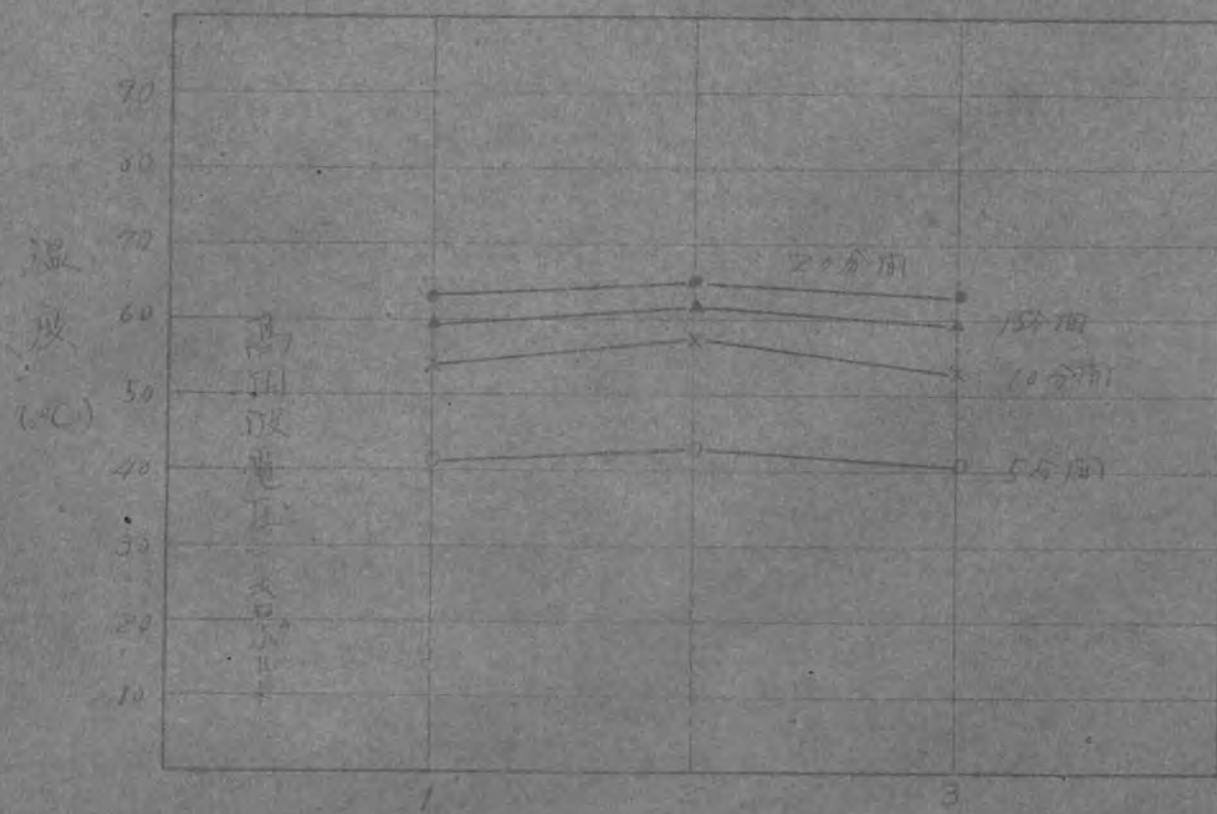
$$\lambda = 4.0 \text{ M}$$



第 71 図



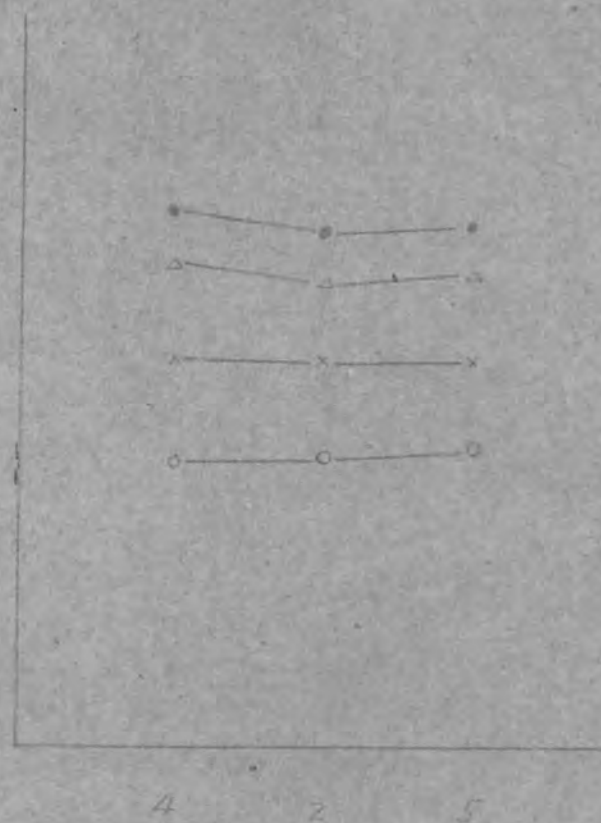
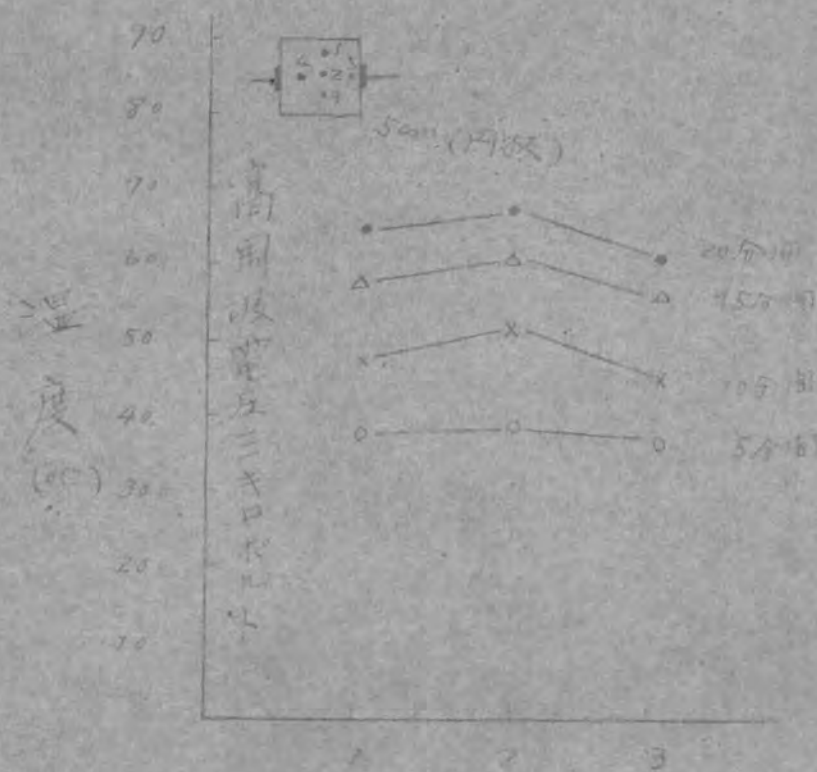
$\lambda = 40 M$



測 定 値



$$\lambda = 40 M$$



測定点

測定点

第 73 図

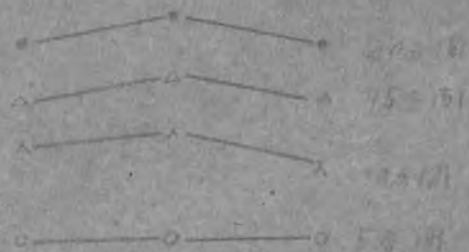
温度  
(°C)

70  
60  
50  
40  
30  
20  
10

高周波電圧の  
分布



$$\lambda = 40 \text{ M}$$



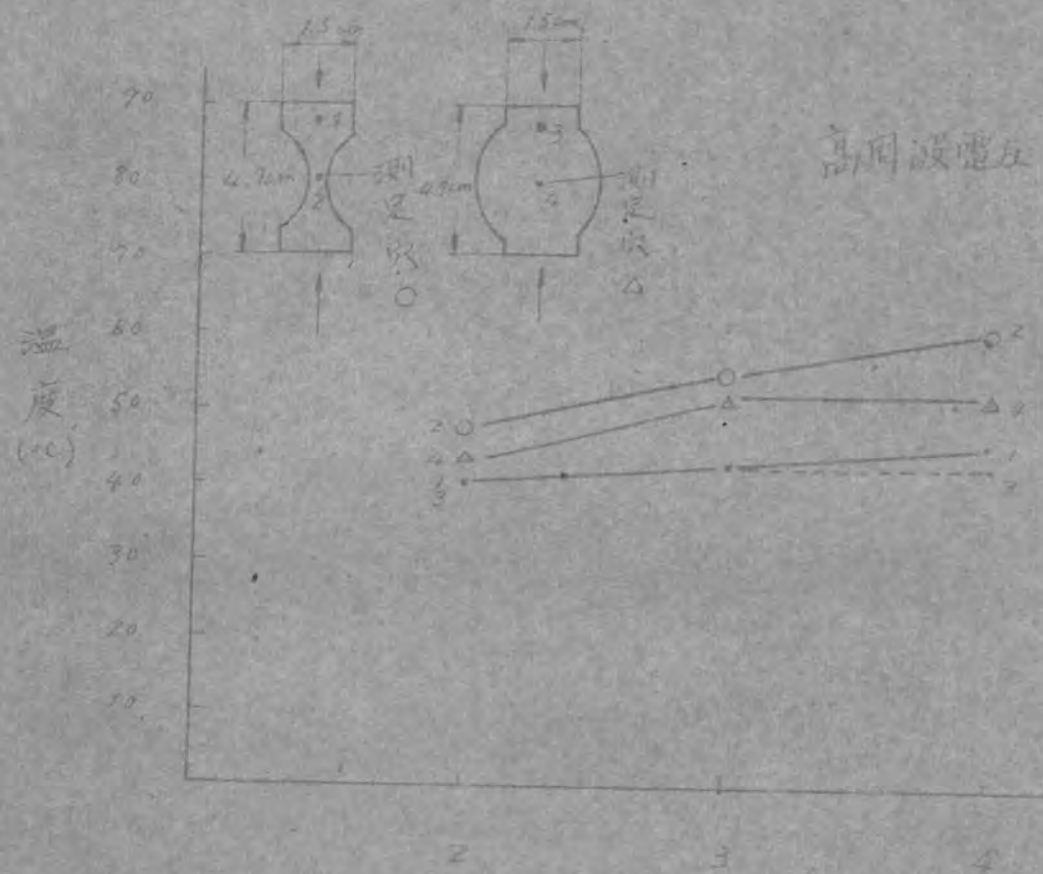
測定点



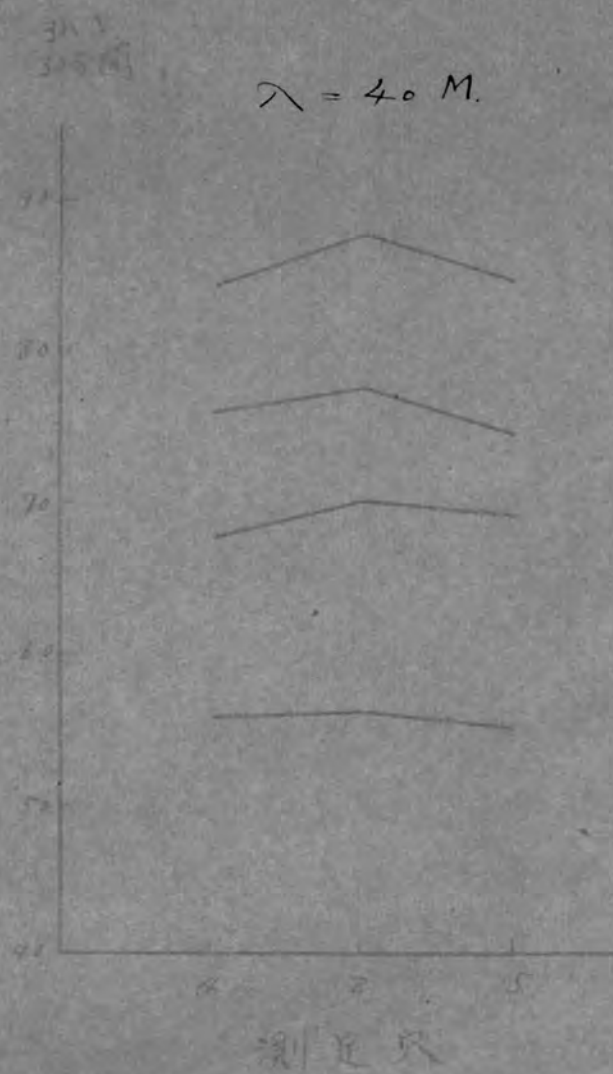
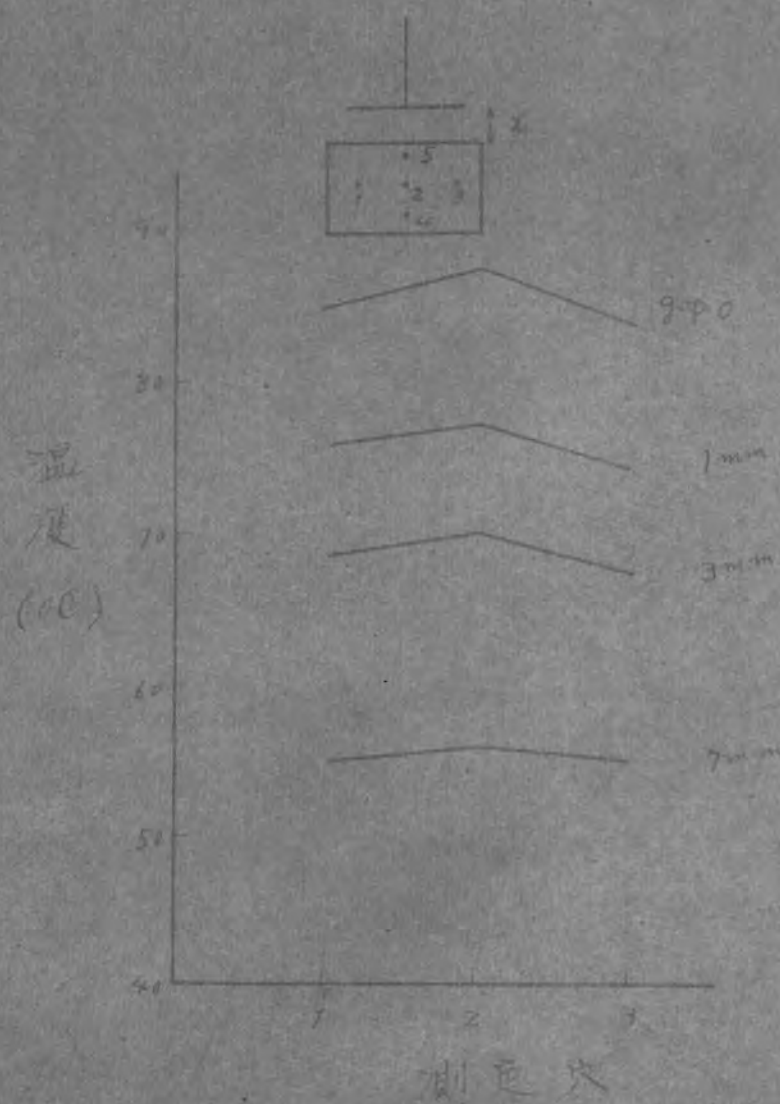
測定点



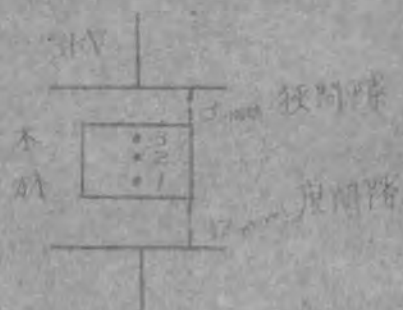
$$\lambda = 40 \text{ M.}$$



(7)

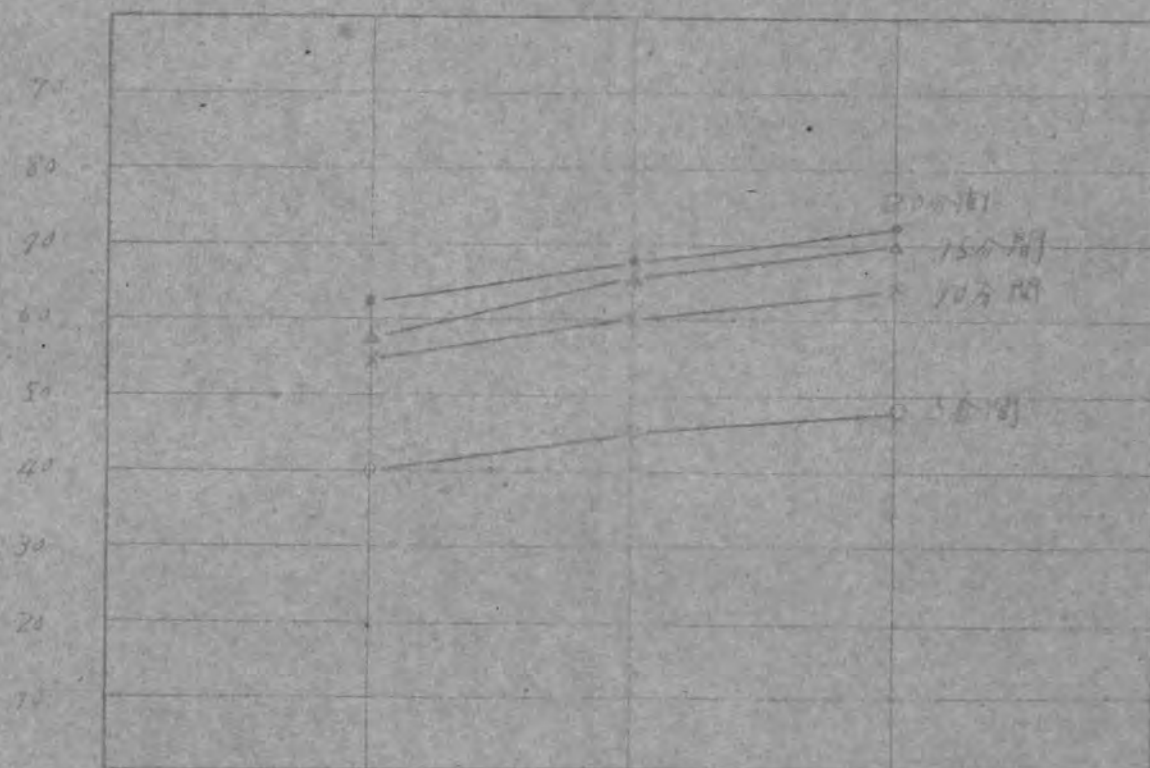


第 76 图

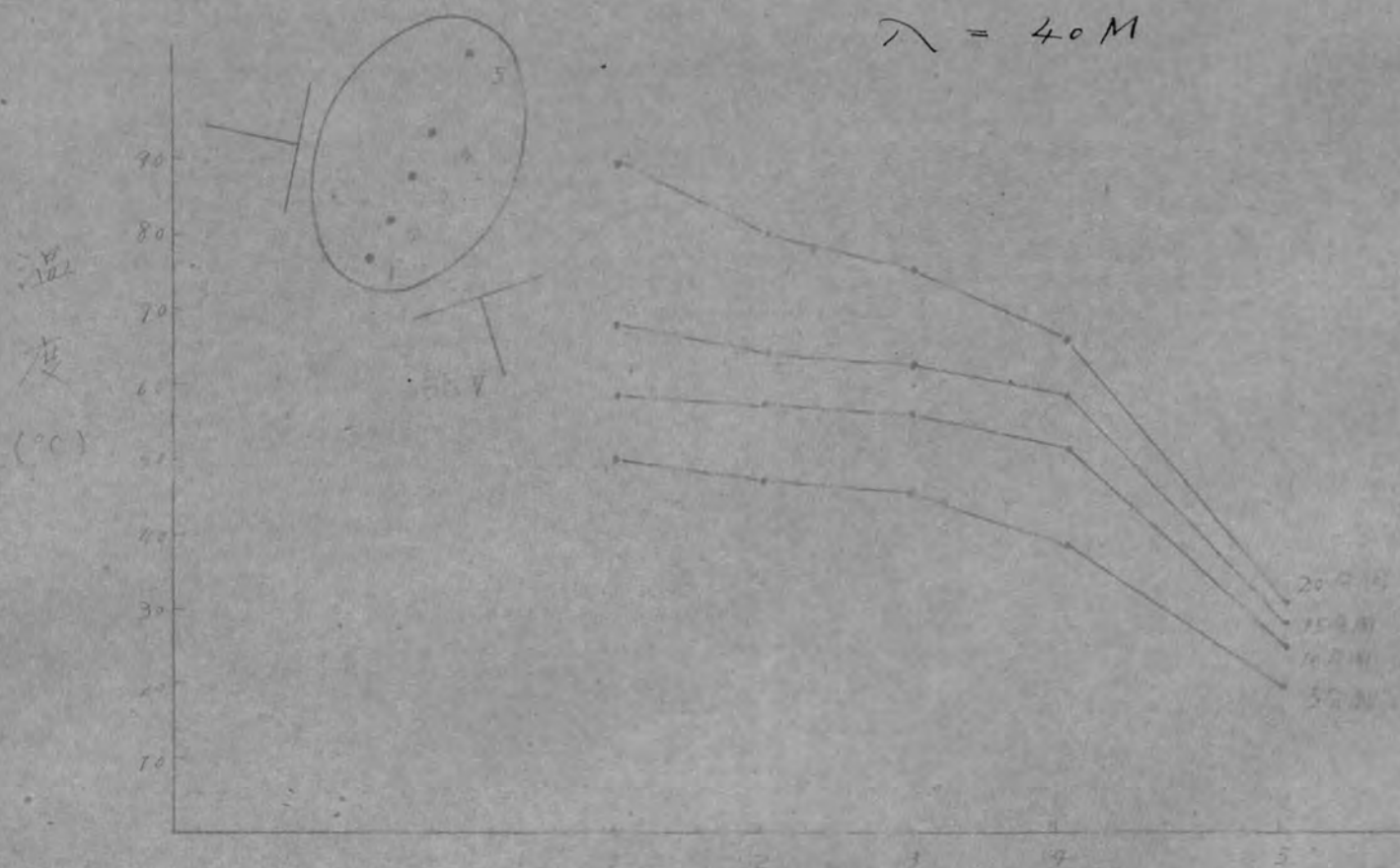


$$\lambda = 40 \text{ M.}$$

温度  
(°C)





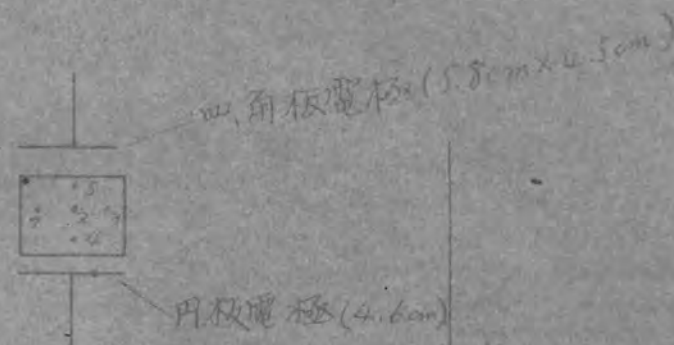


第 78 图

$$\lambda = 40 M.$$

温度  
(°C)

高周波電圧  
三又四波ルト



90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10  
0



測定点



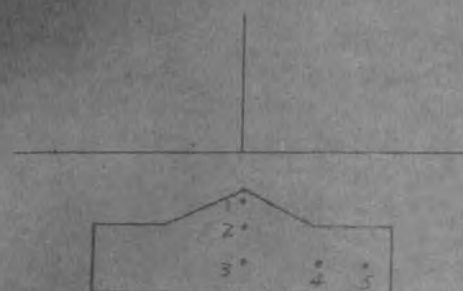
測定点

第 79 图

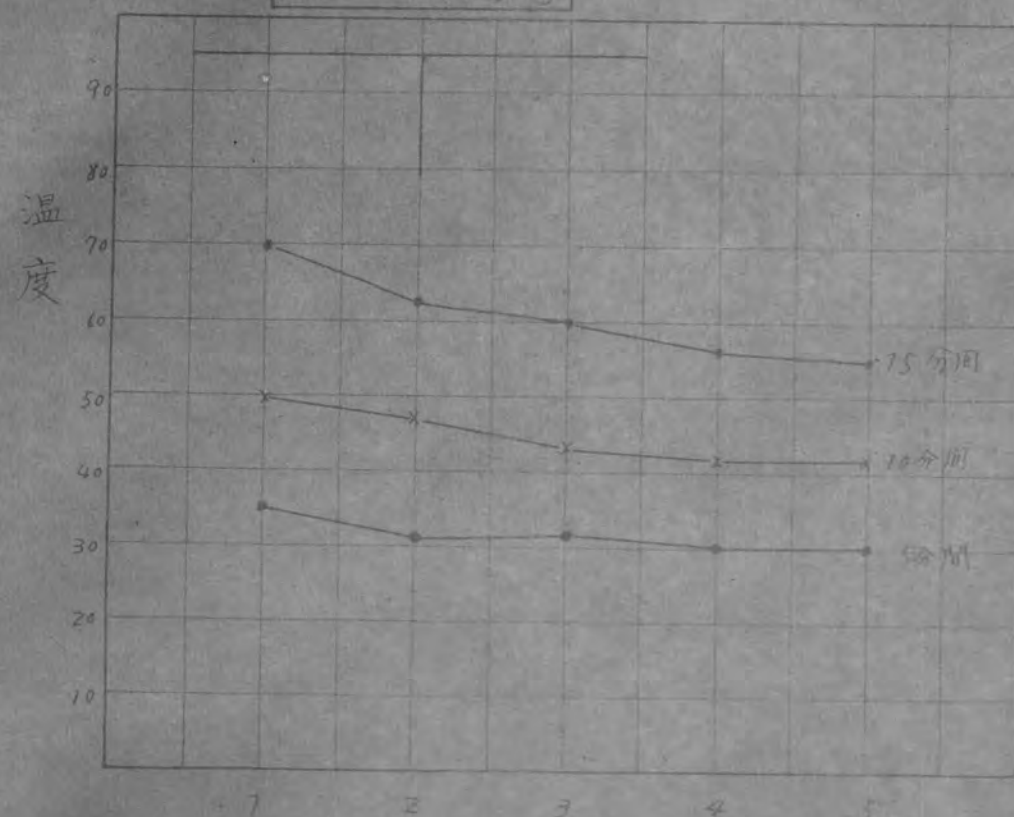
$$\lambda = 40 \text{ M}$$

第 8 图



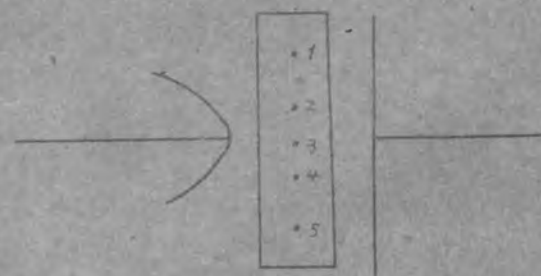


$$\lambda = 40 \text{ M.}$$



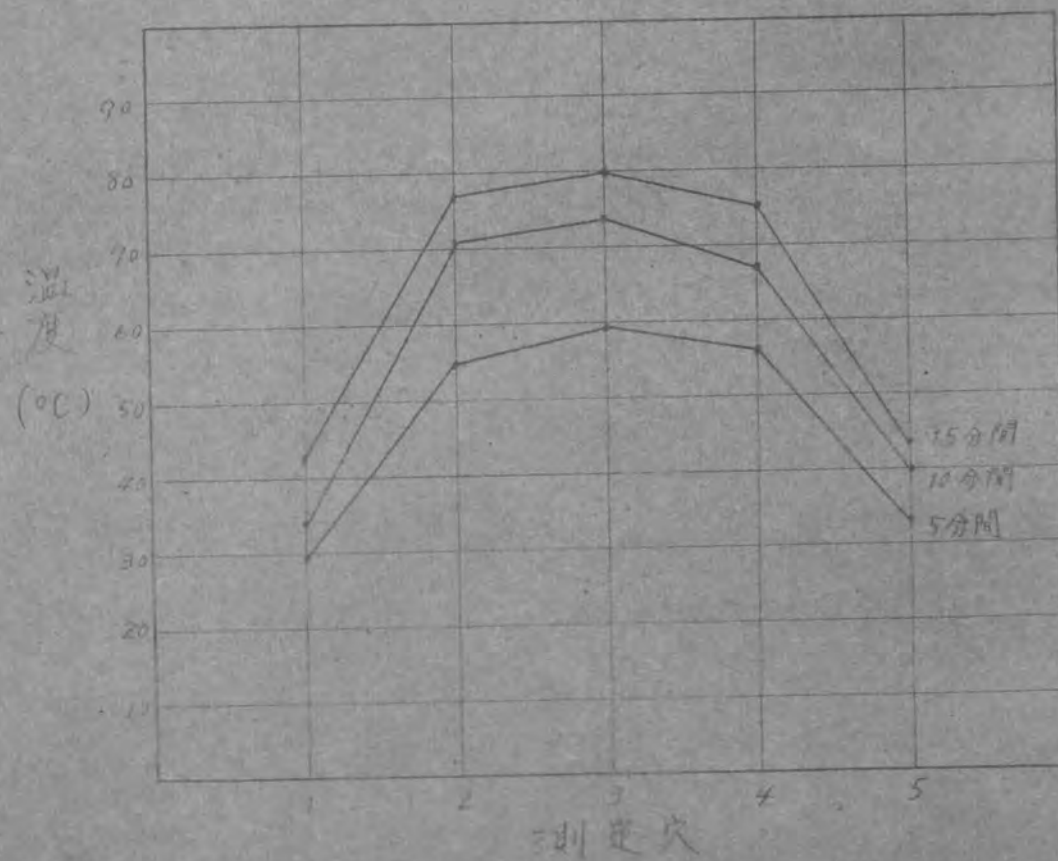
测定点

第 81 图



$$\lambda = 40 \text{ M.}$$

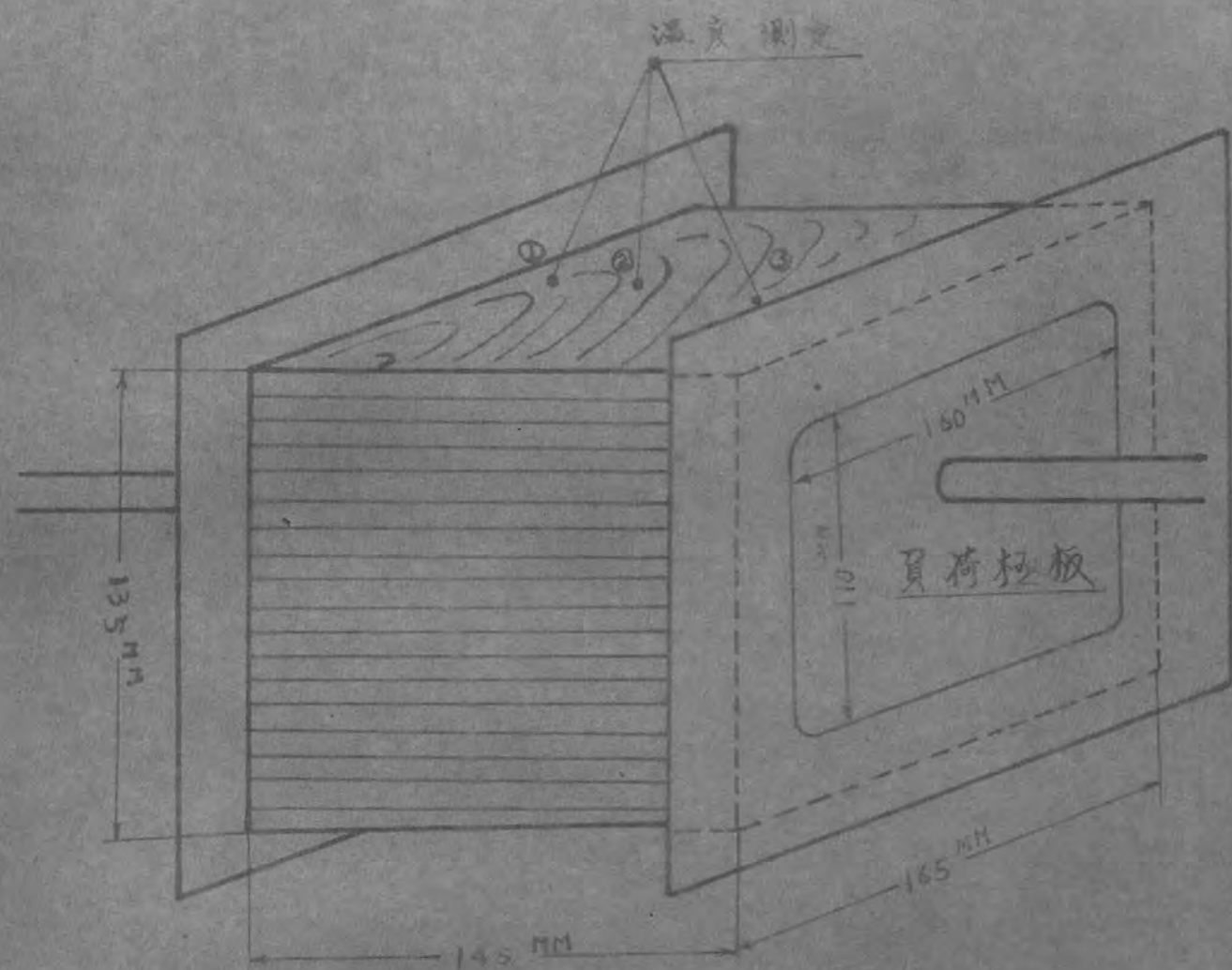
$$v = 3,000$$



第 82 图

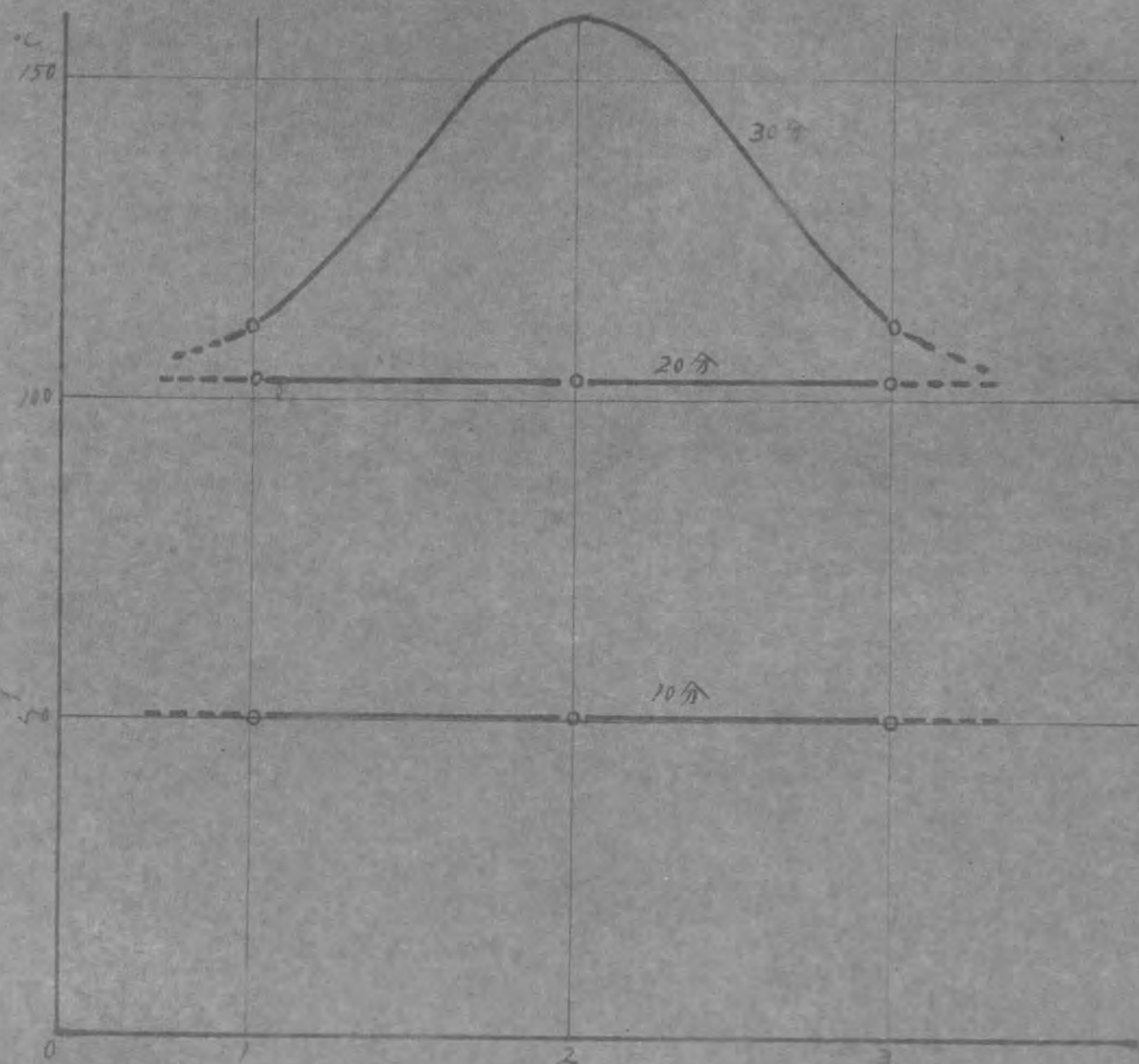


# 強化水

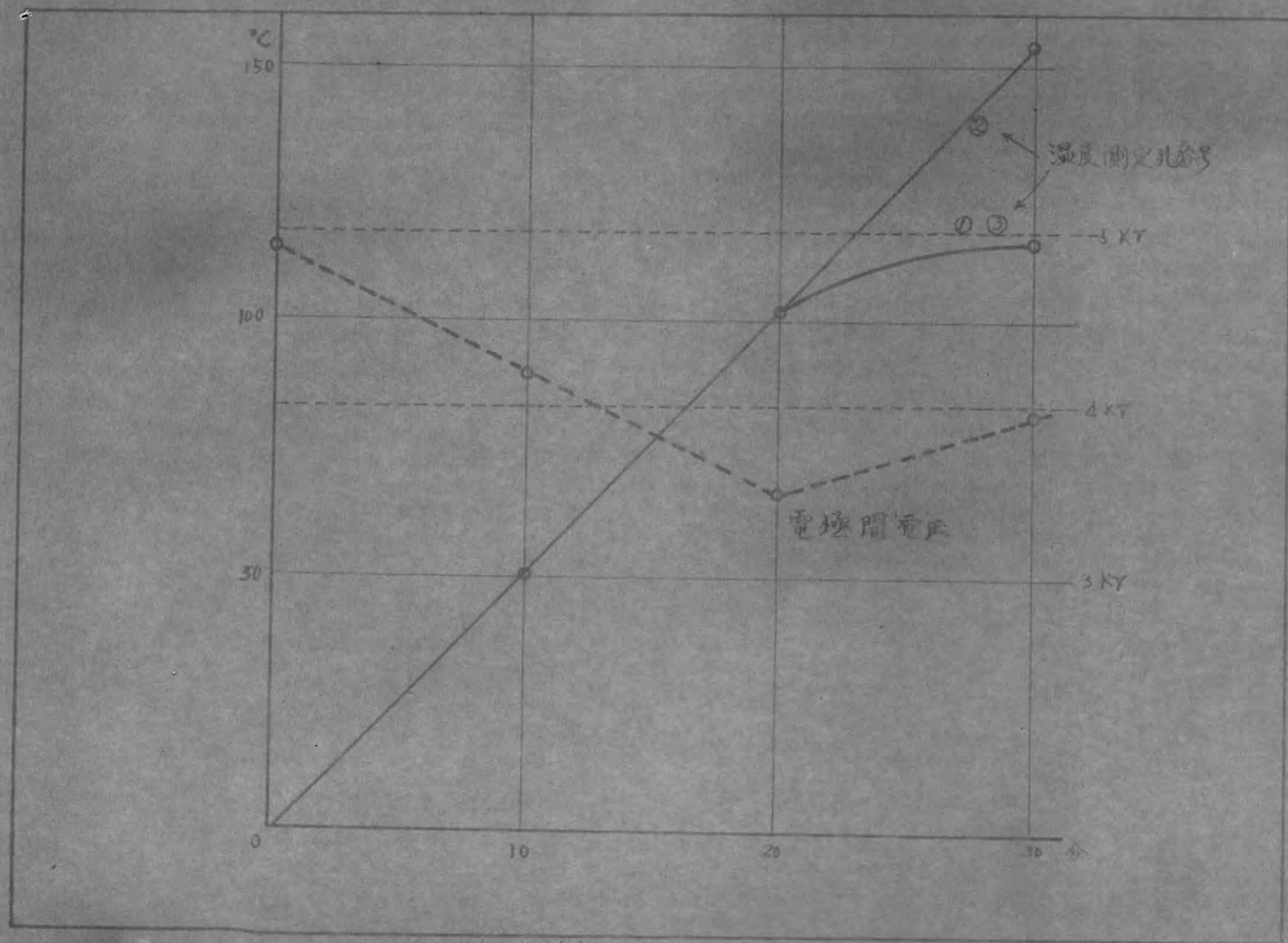


試料 2M/M 厚, 強度 200 kg/cm<sup>2</sup> 樹脂含有率 8%

強化不找 温度分布

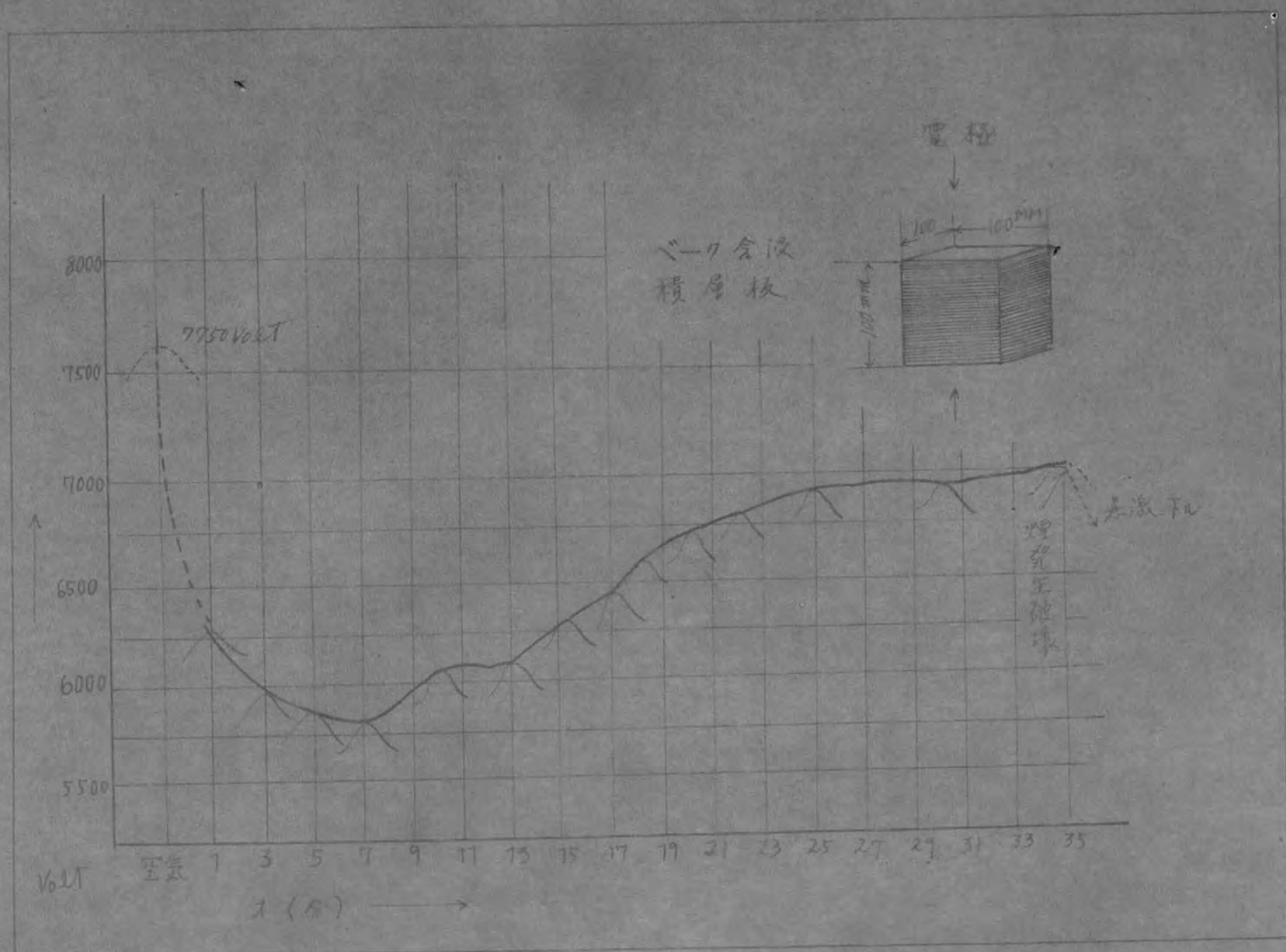


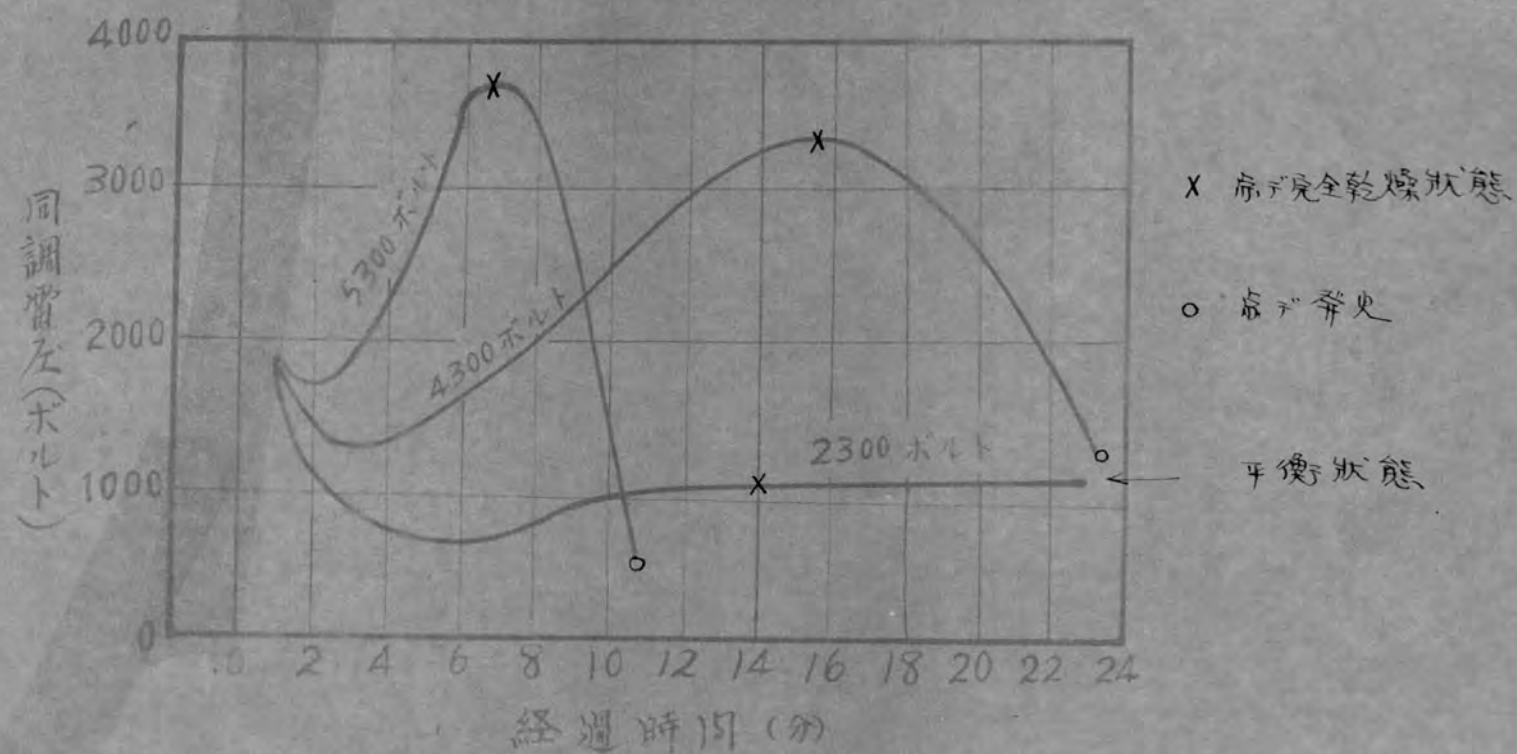
温度測定孔



第 85 圖

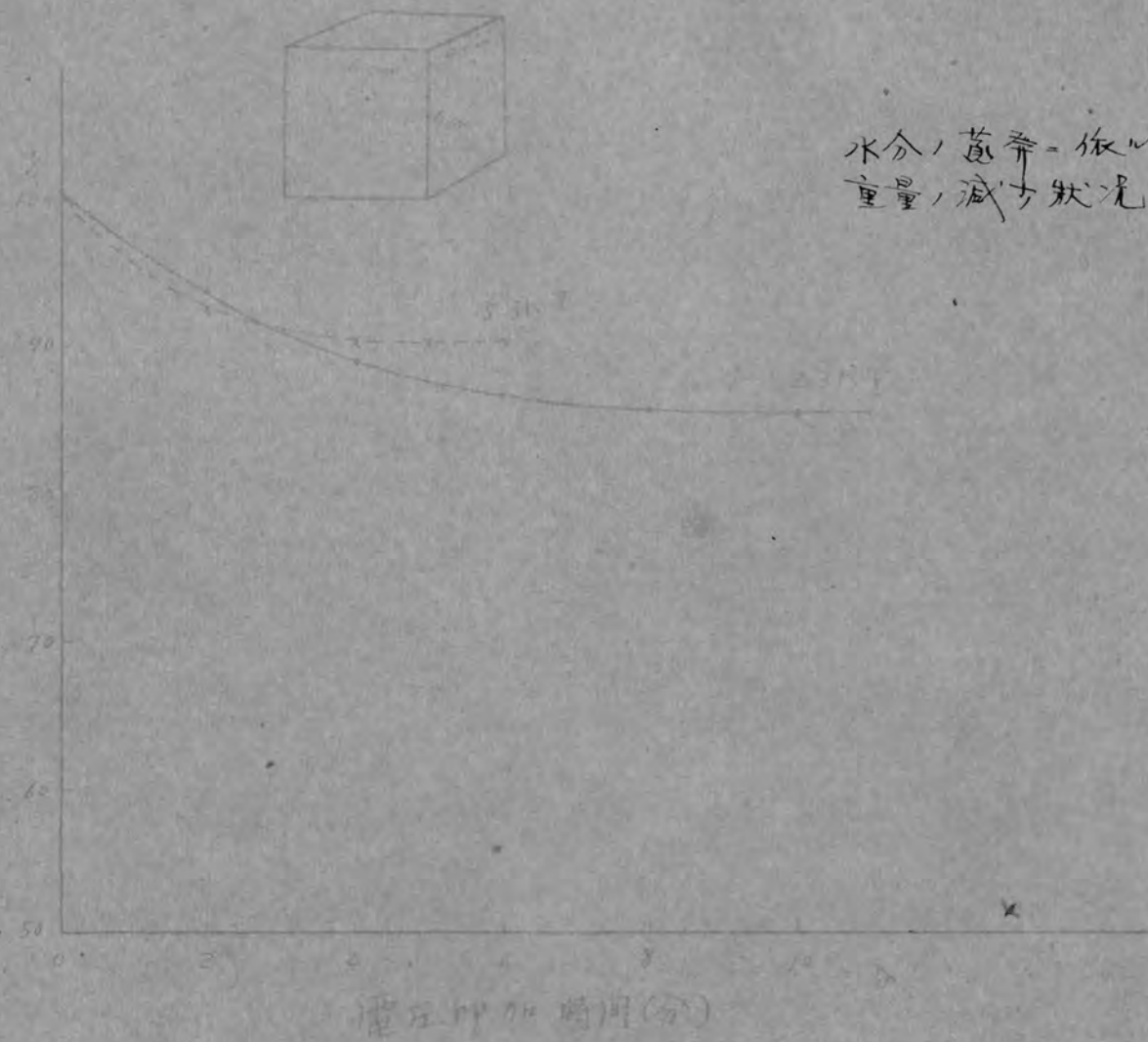






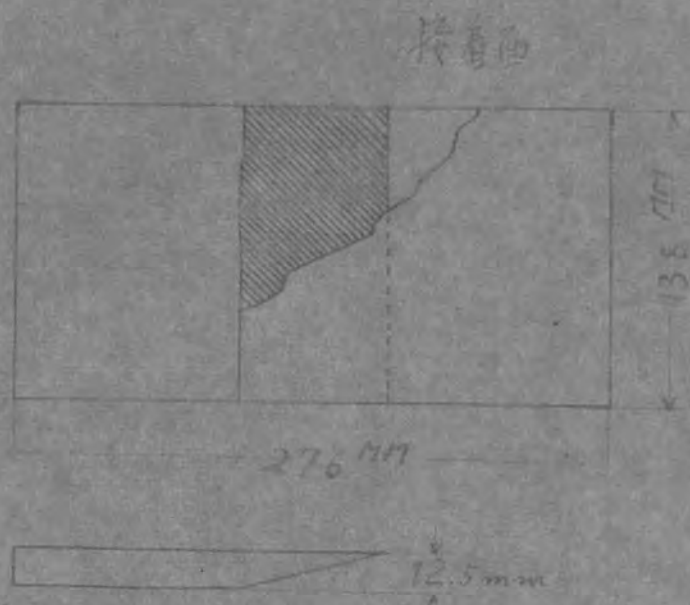
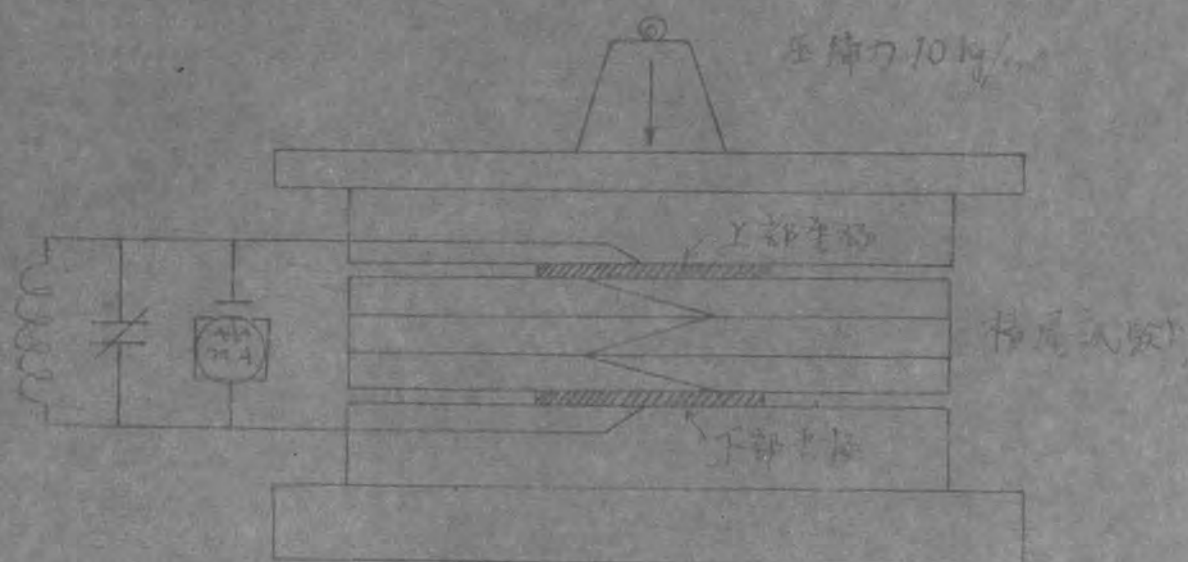
高周波の高電圧下に於ける  
木材の乾燥状況

重量減少、度合



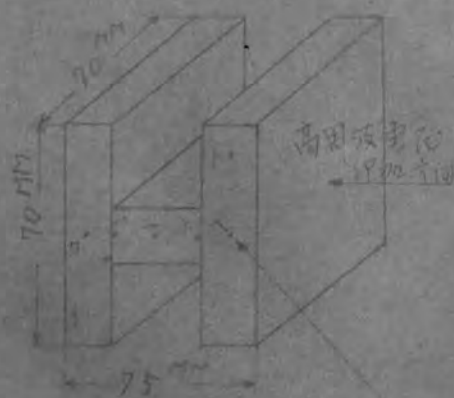
第 88 图

高频微波热-依木材 粘着 (第 6 表参照)

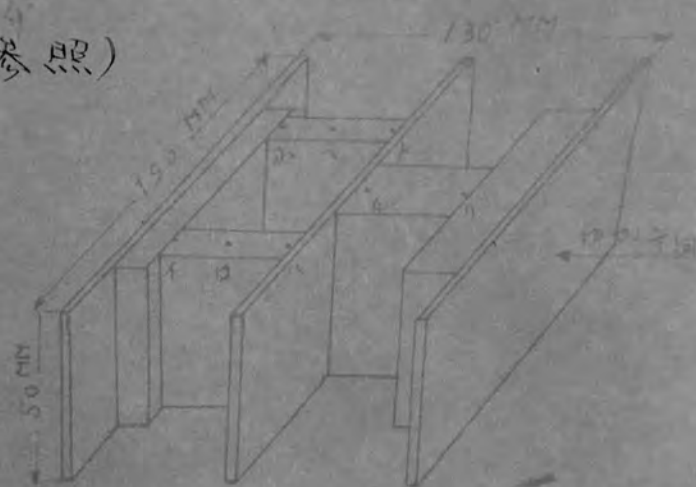




木材、各種構造物、温度測定  
(表7参照)

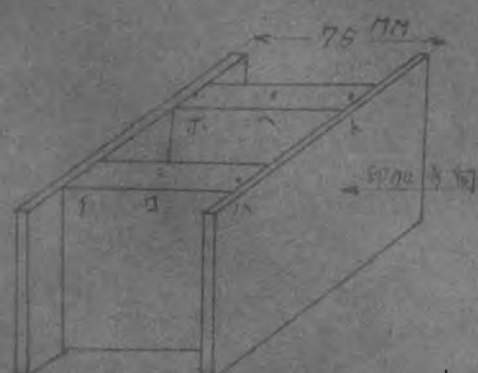


H型

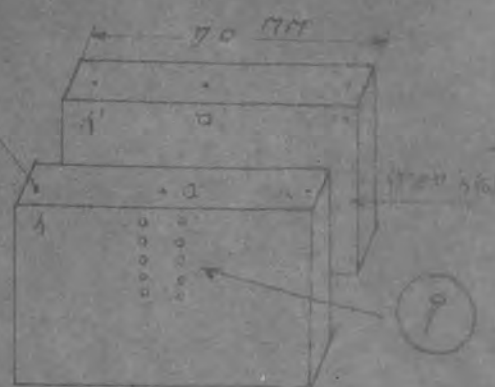


T型

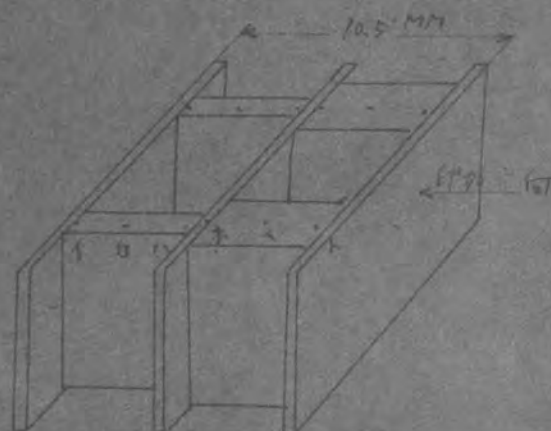
温度測定孔



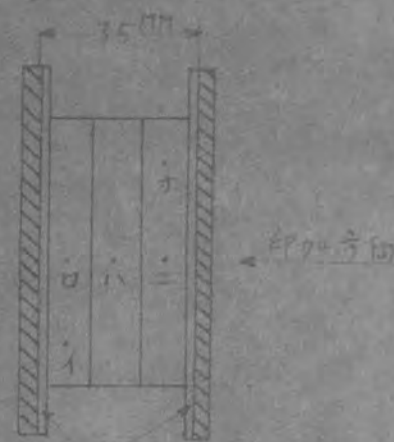
U型



11型

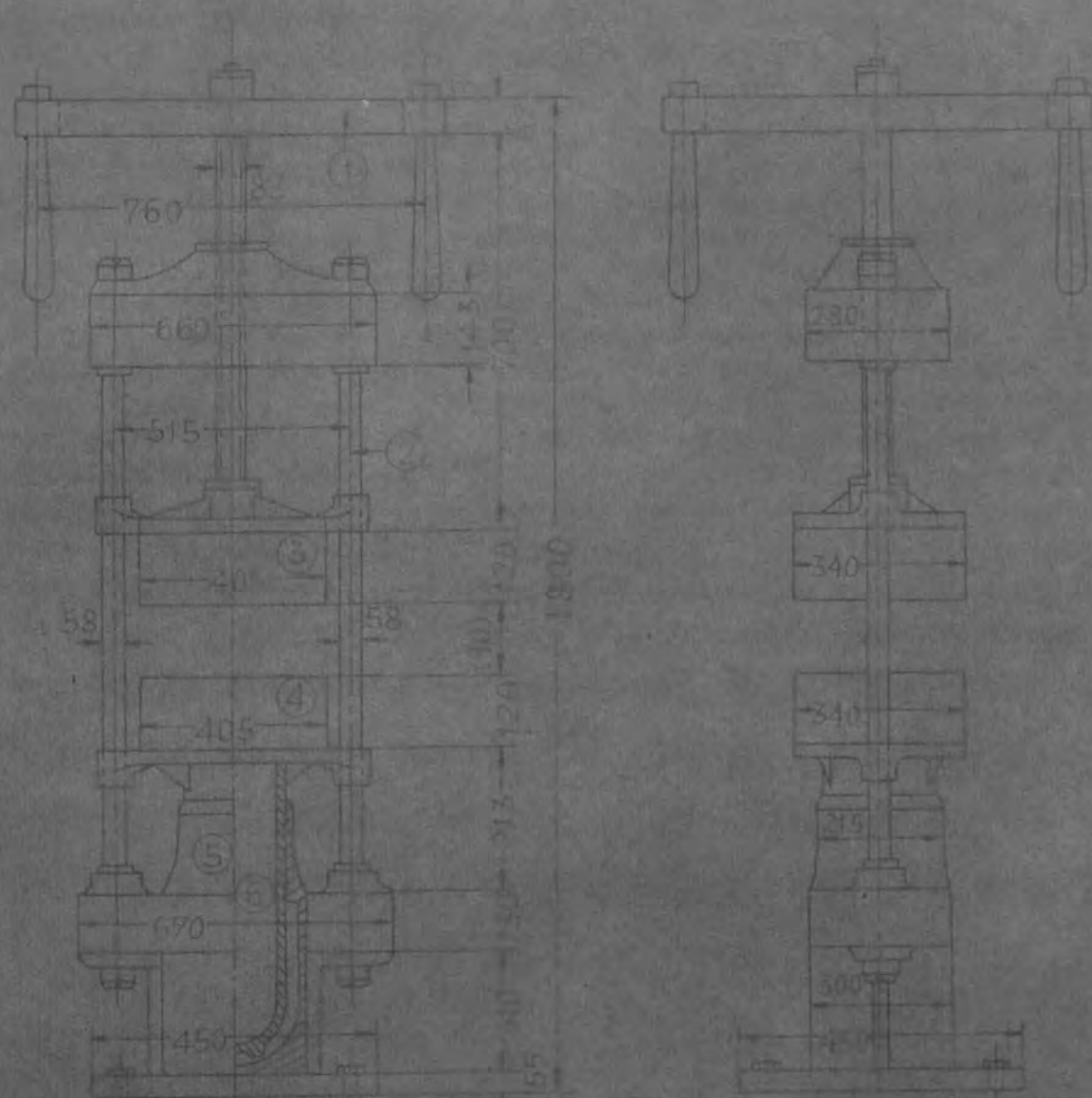


11型

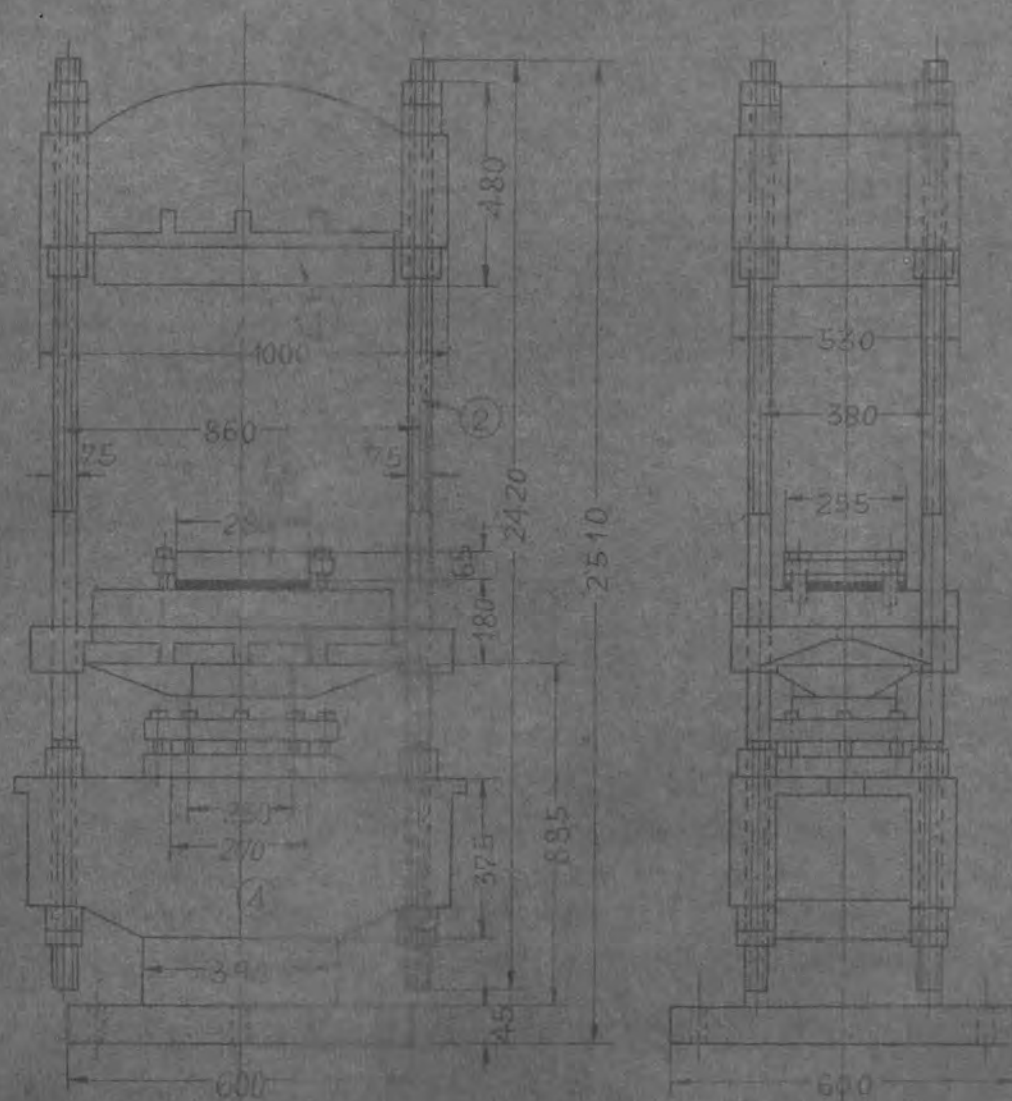


11型

# A50型 手動式高圧成型機 (175用)

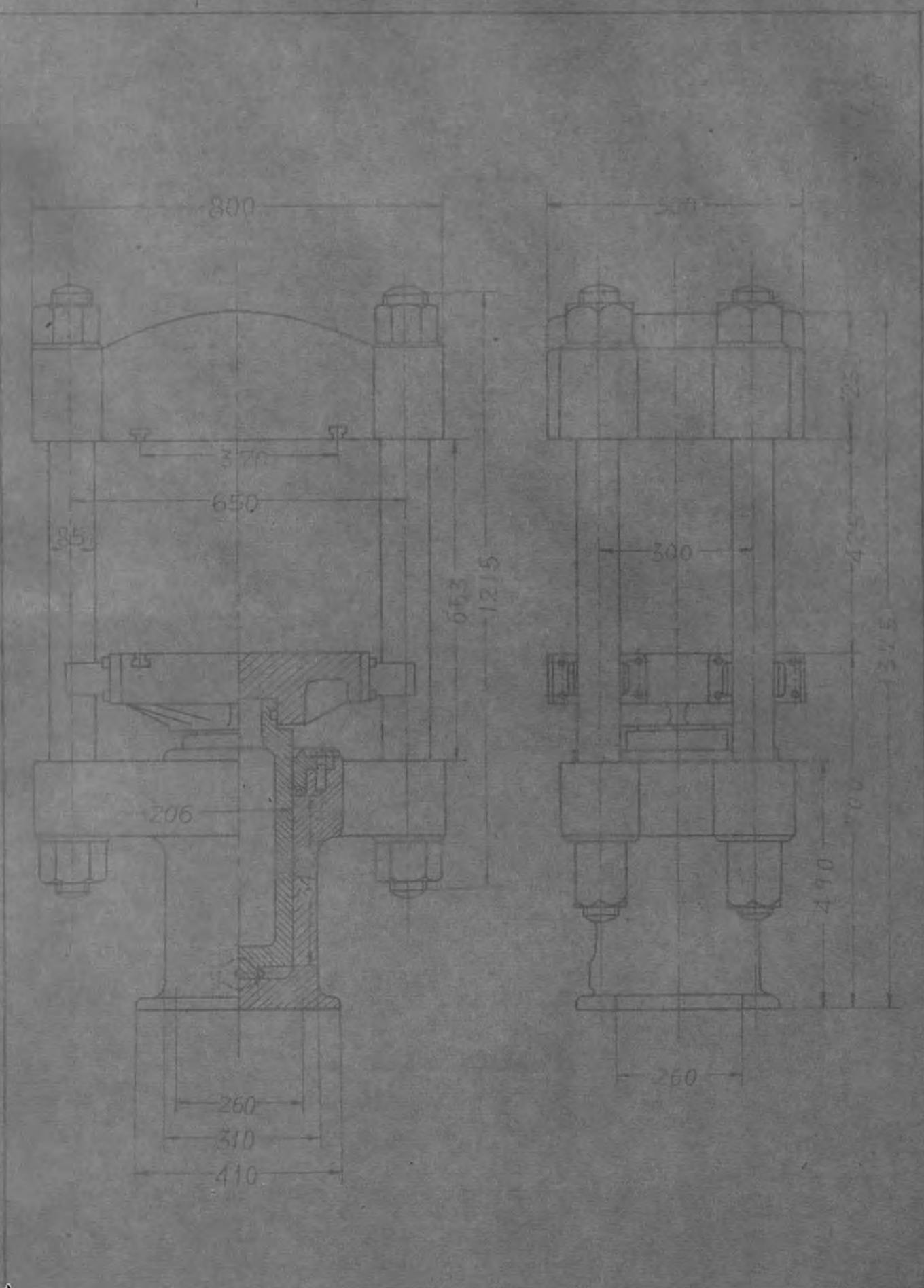


尺寸表 1/10	
1	ハンドル
2	支柱
3	上 盤
4	定 盤 台
5	主油圧筒
6	脚 台



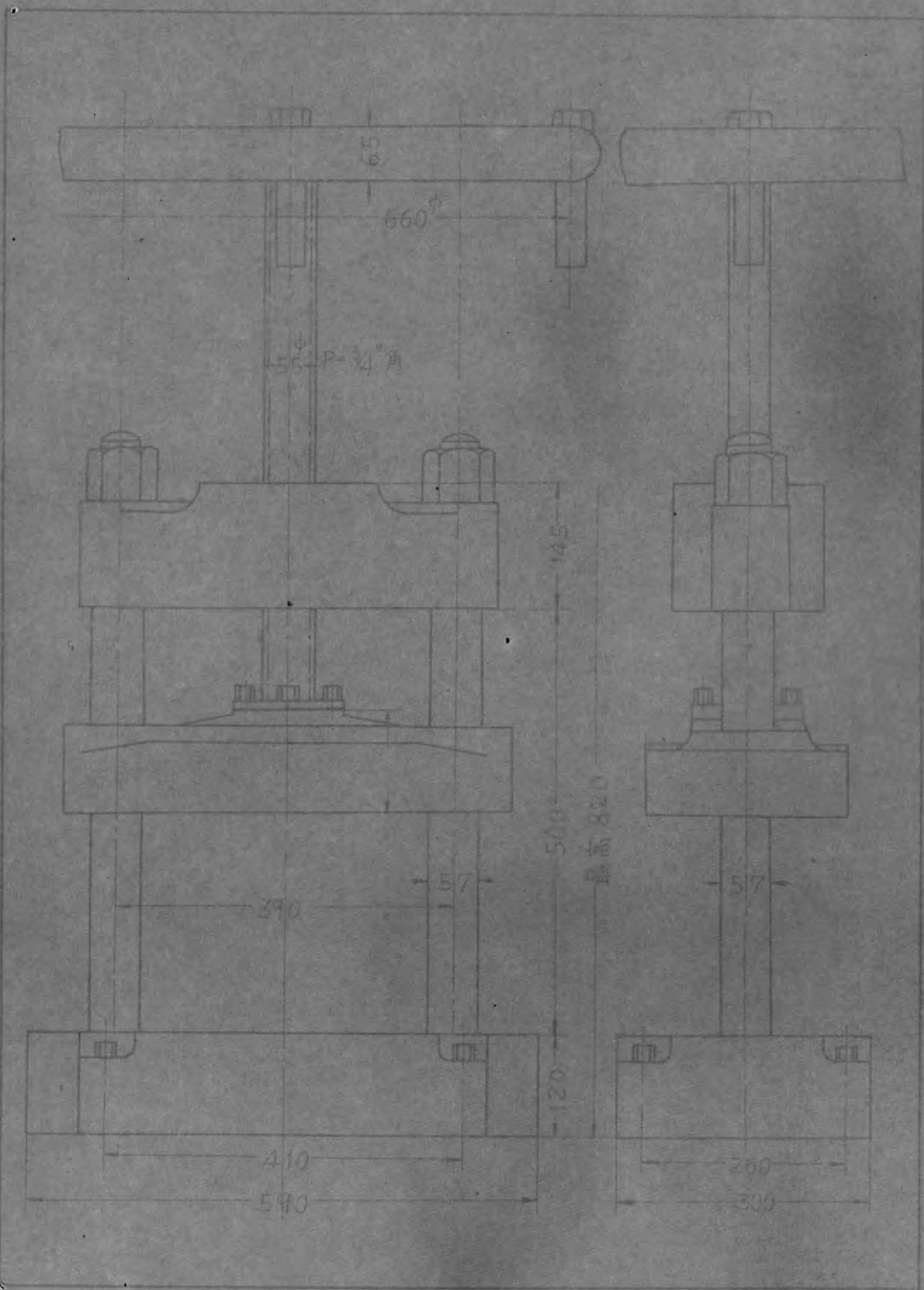
200吨型水压機			
尺度	1/20	單位	號
1	上	盤	
2	支	柱	
3	定	盤	
4	主	水	缸

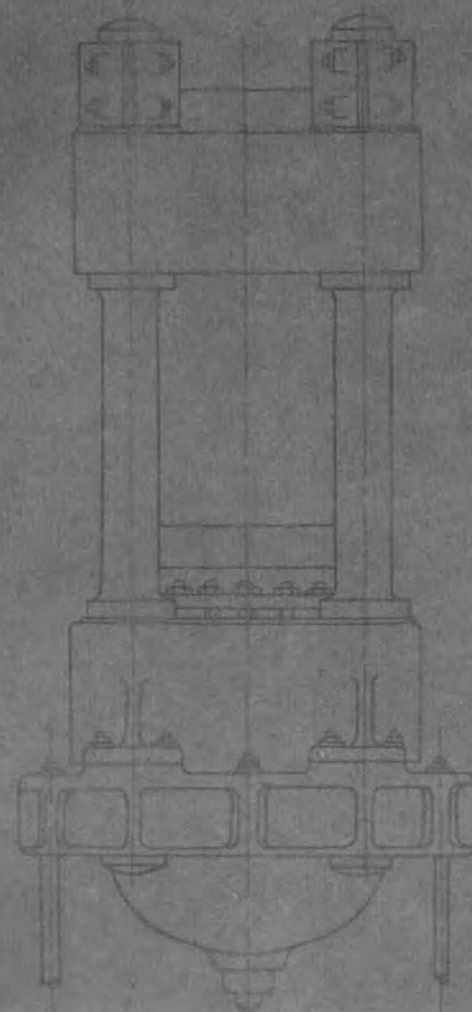
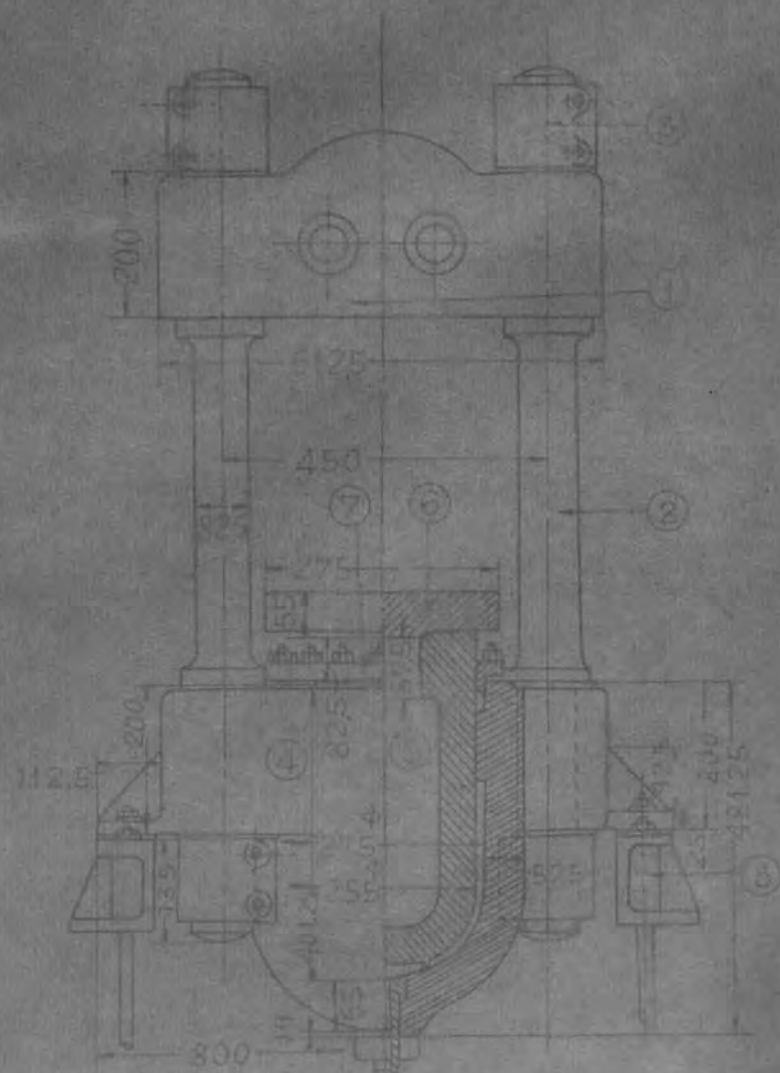
第 92 圖



第 93 图

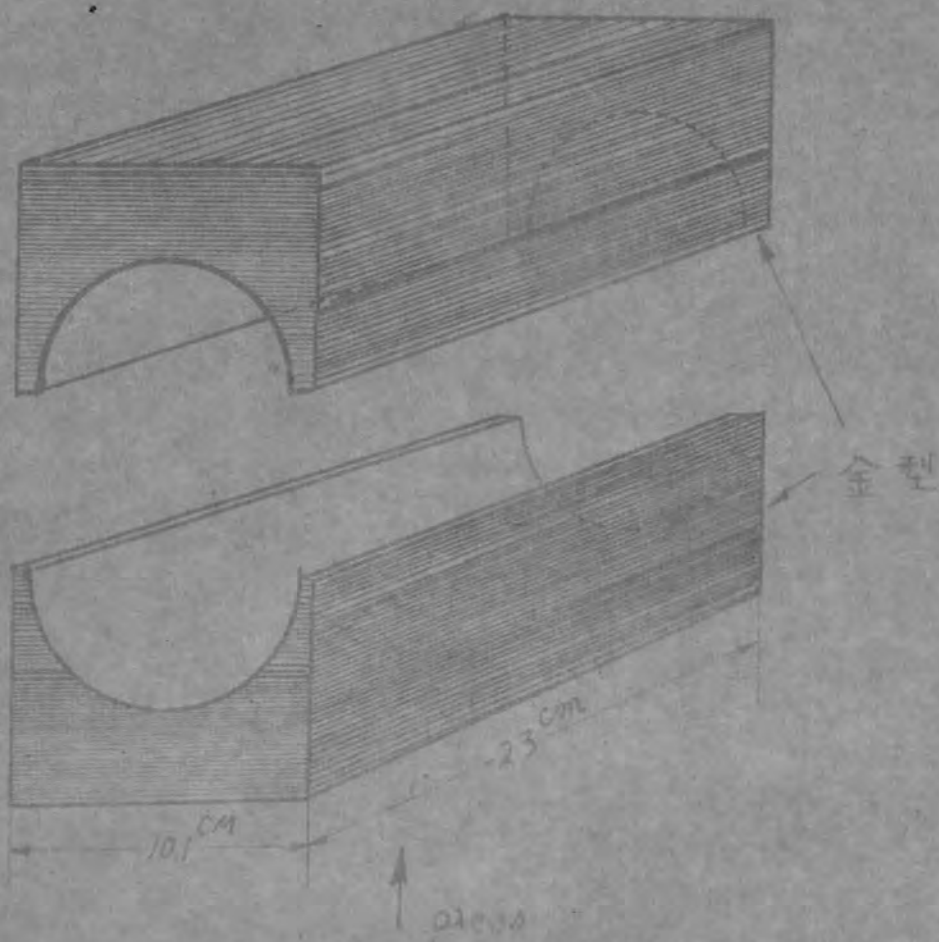






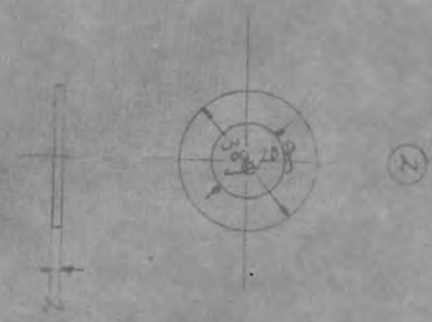
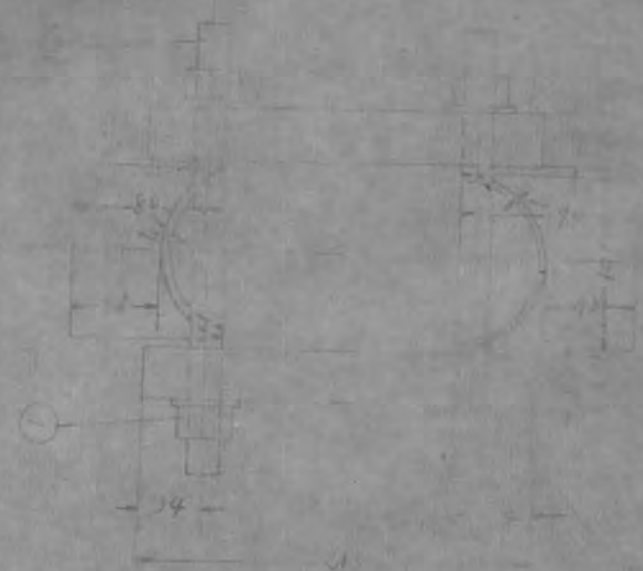
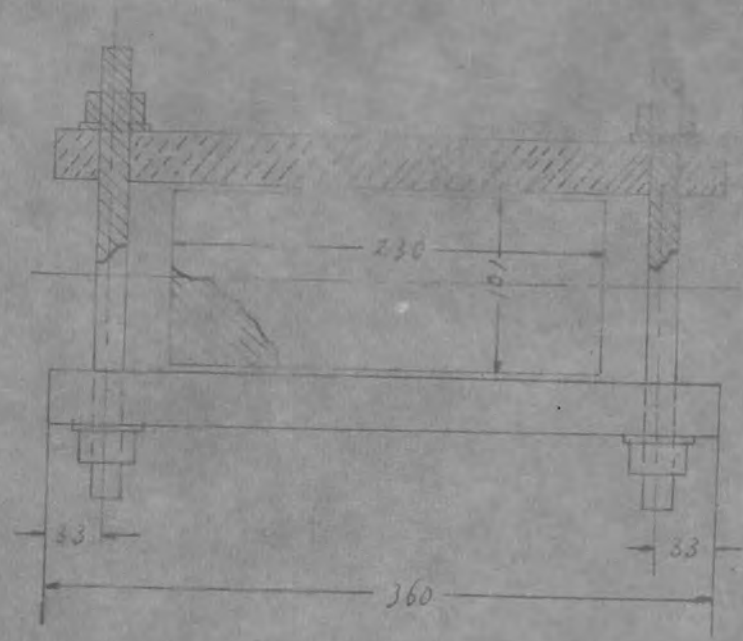
序 号	名 称	材 料	数 量
1	上 盖	SC45	1
2	主 柱	SE54	2
3	中 螺	SC45	8
4	主 水 平 筒	SC45	1
5	螺 母	FC14B	1
6	定 位 台	FC14	1
7	前 罩 板	SC45	1
8	脚 台	FC14	2

第 95 图



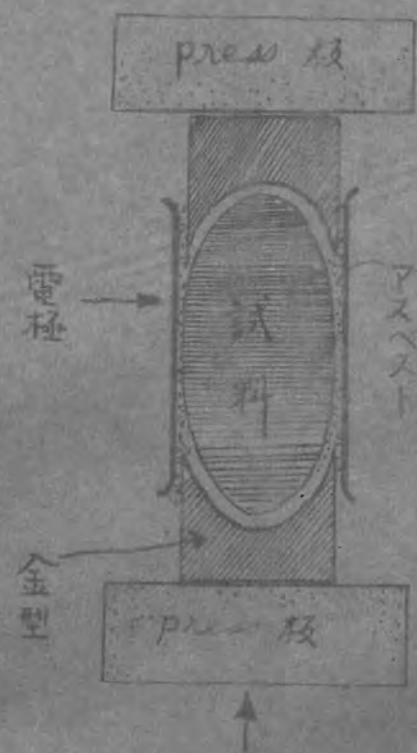
第 96 図



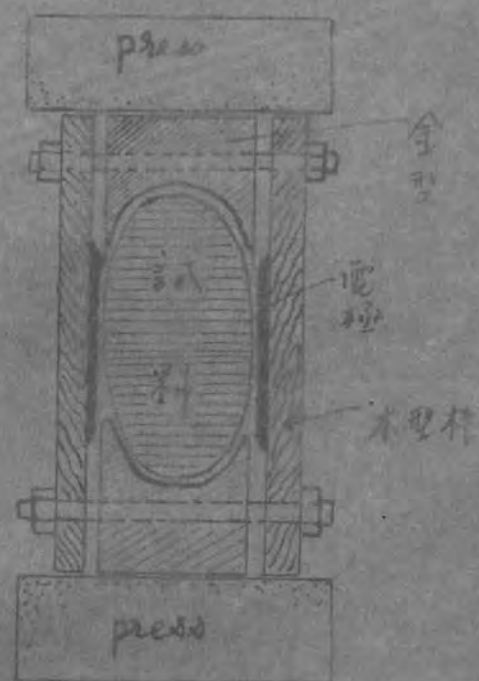


1/4, 8, 2,

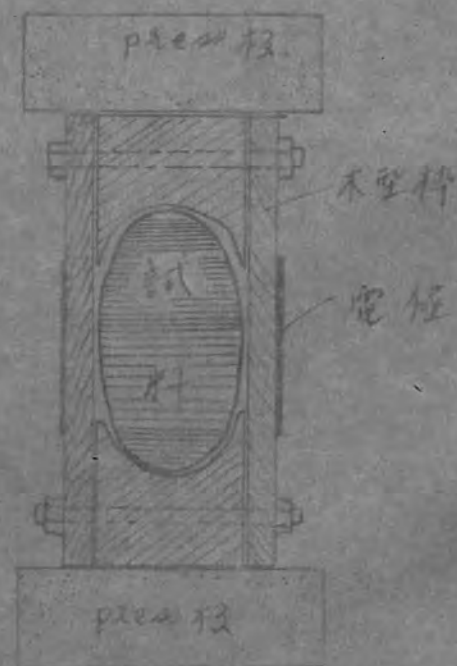
第 97 图



第一圖

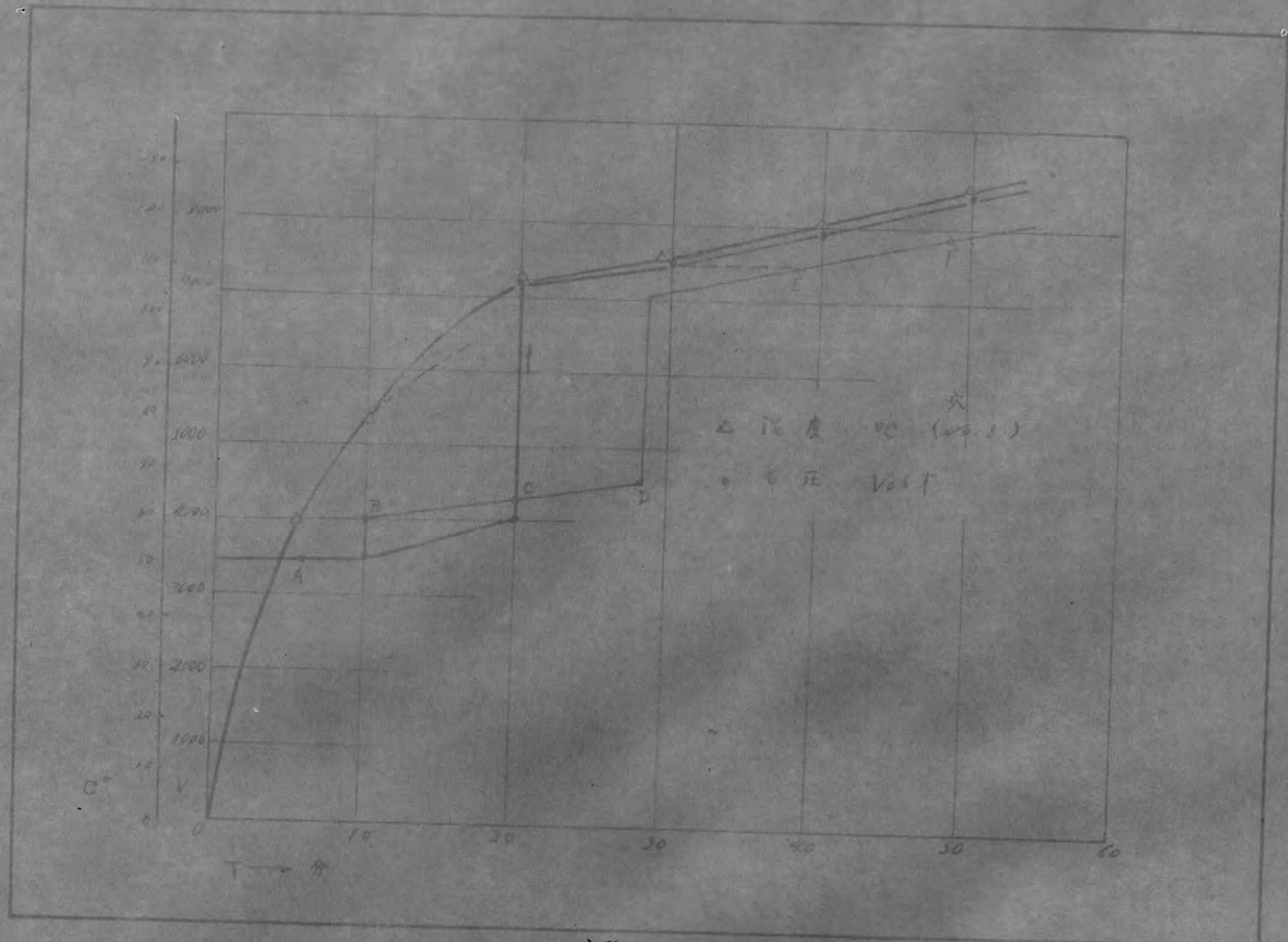


第二圖

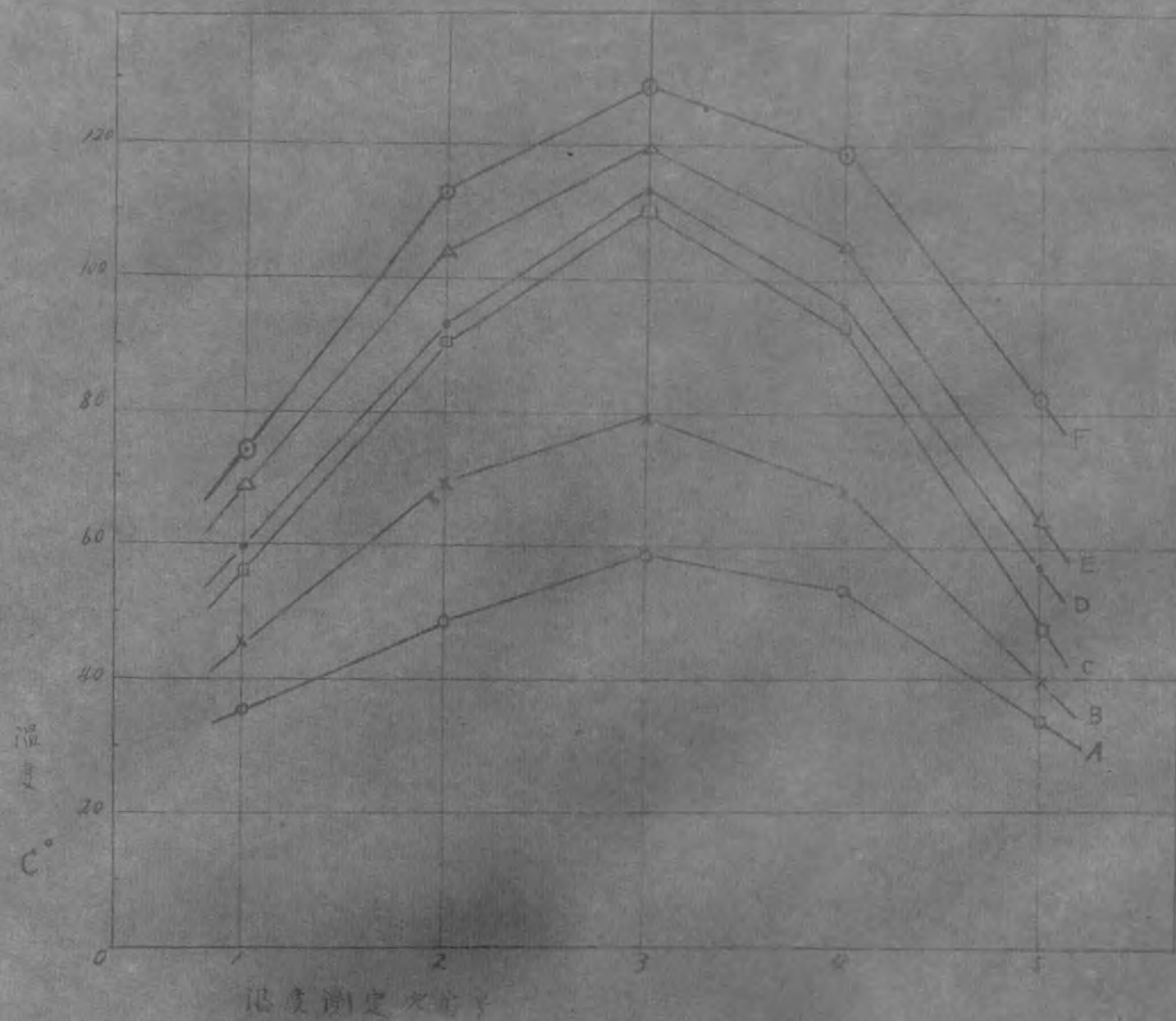


第三圖

H.F 印加電極配置圖



第 99 图



条件配置

A, B 第一圖  
C, D 第二圖 (別圖)  
E, F 第三圖

A 3500V, 50%

B 3500V, 10%

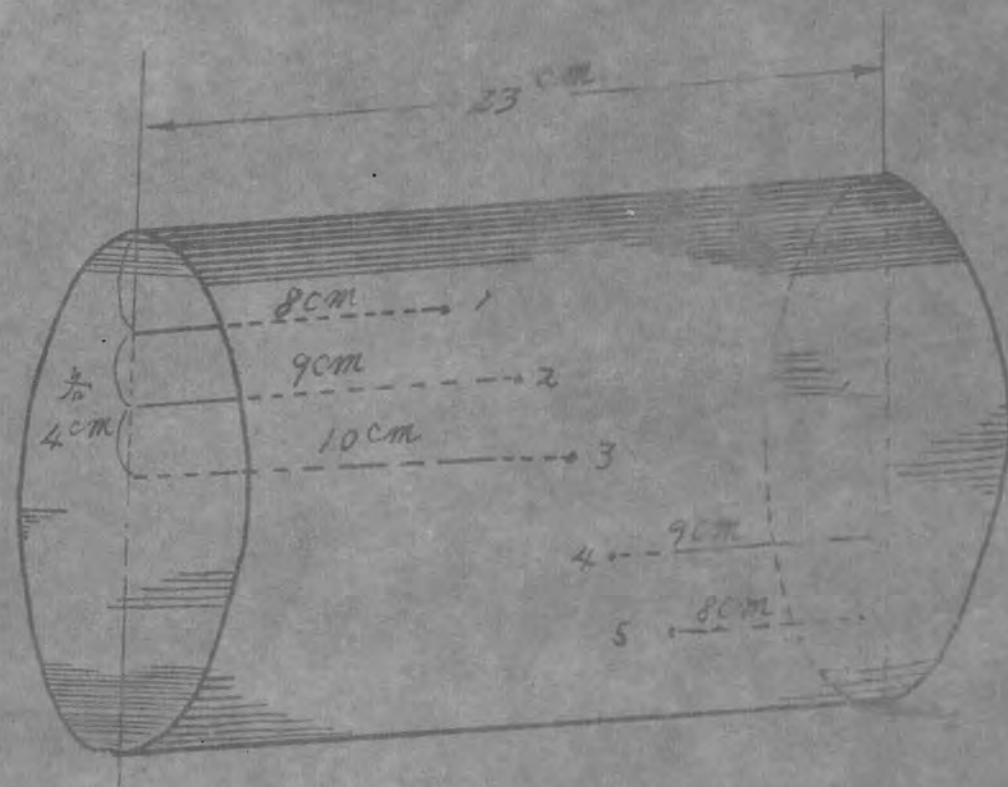
C 4000V, 20%

D 4200V, 28%

E 7500V, 35%

F 9100V, 42%



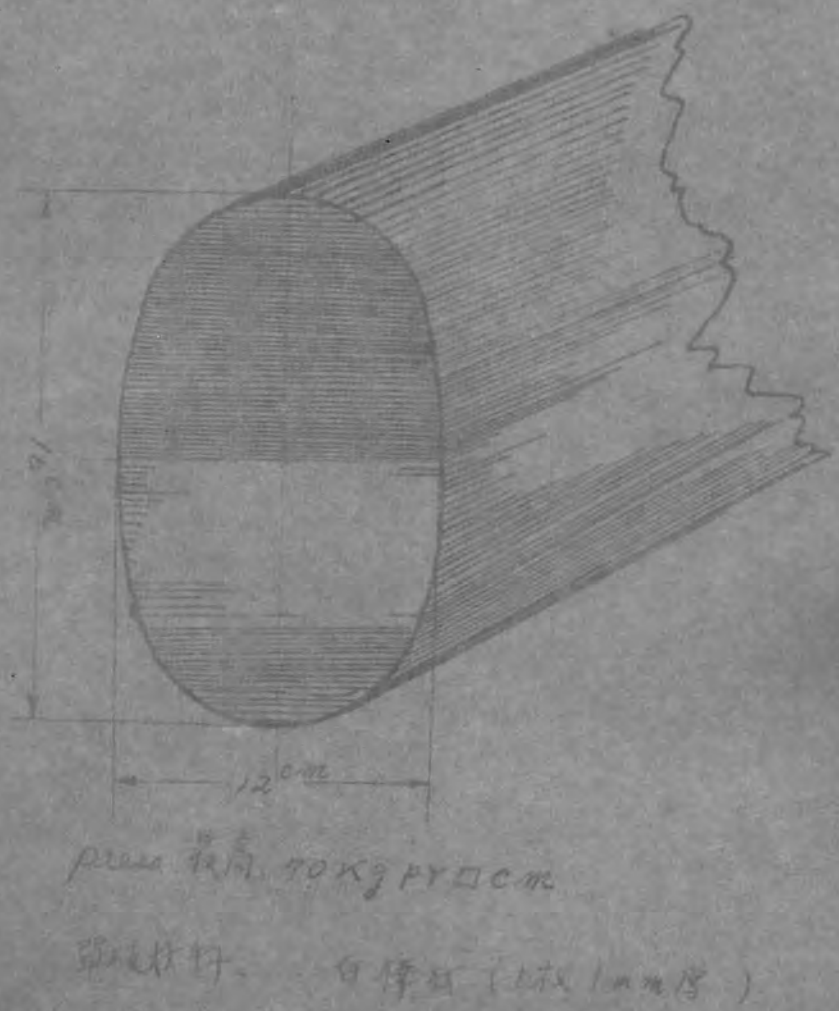
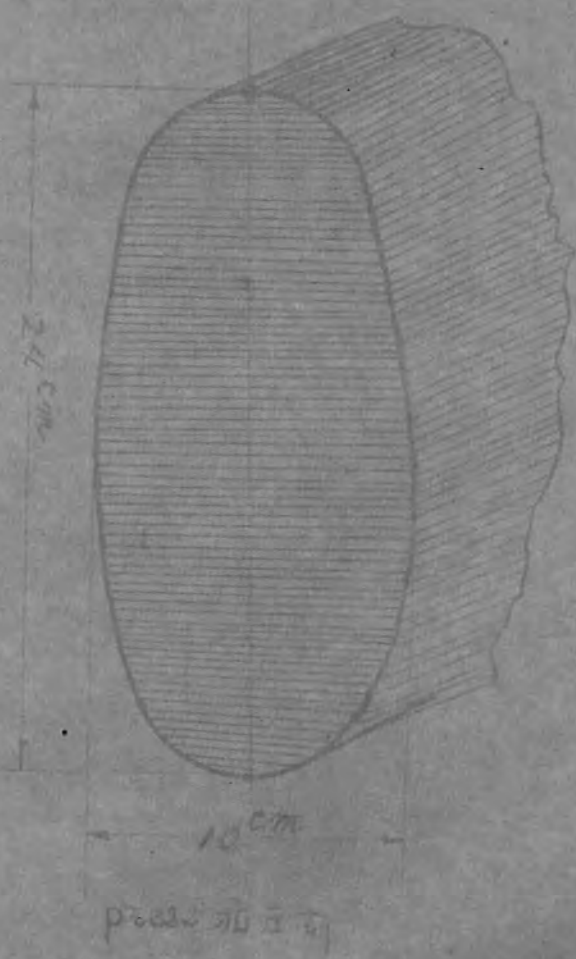


單板1枚 1mm厚  
單板枚數 240枚

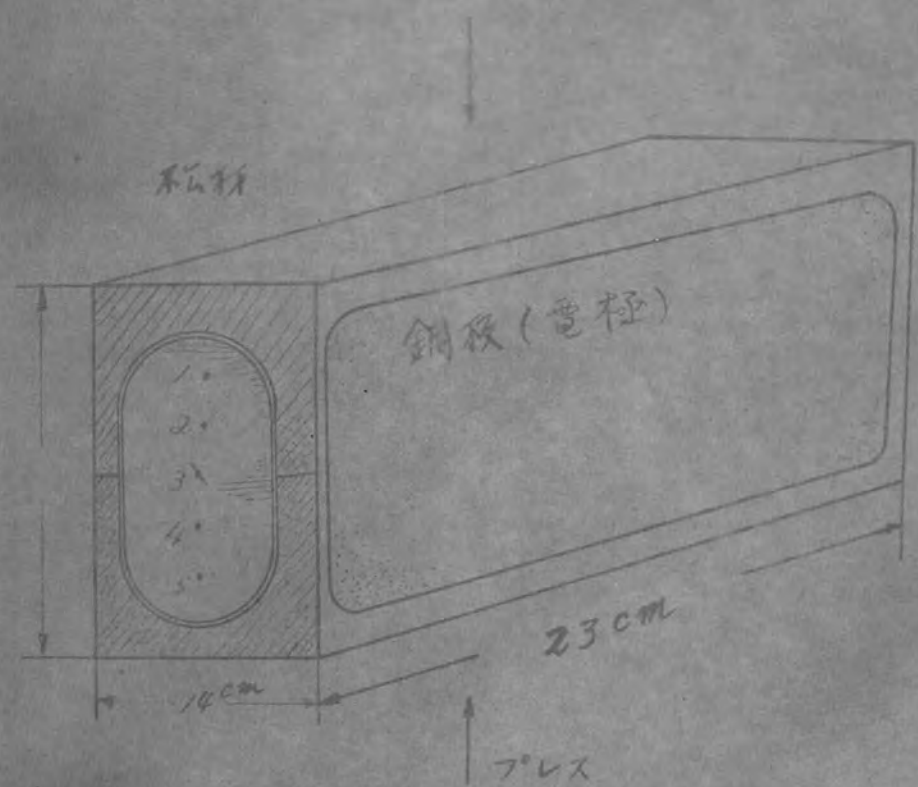
試料，溫度測定位置

↑  
P

Pressure 0~70 kg/cm²



第 102 圖



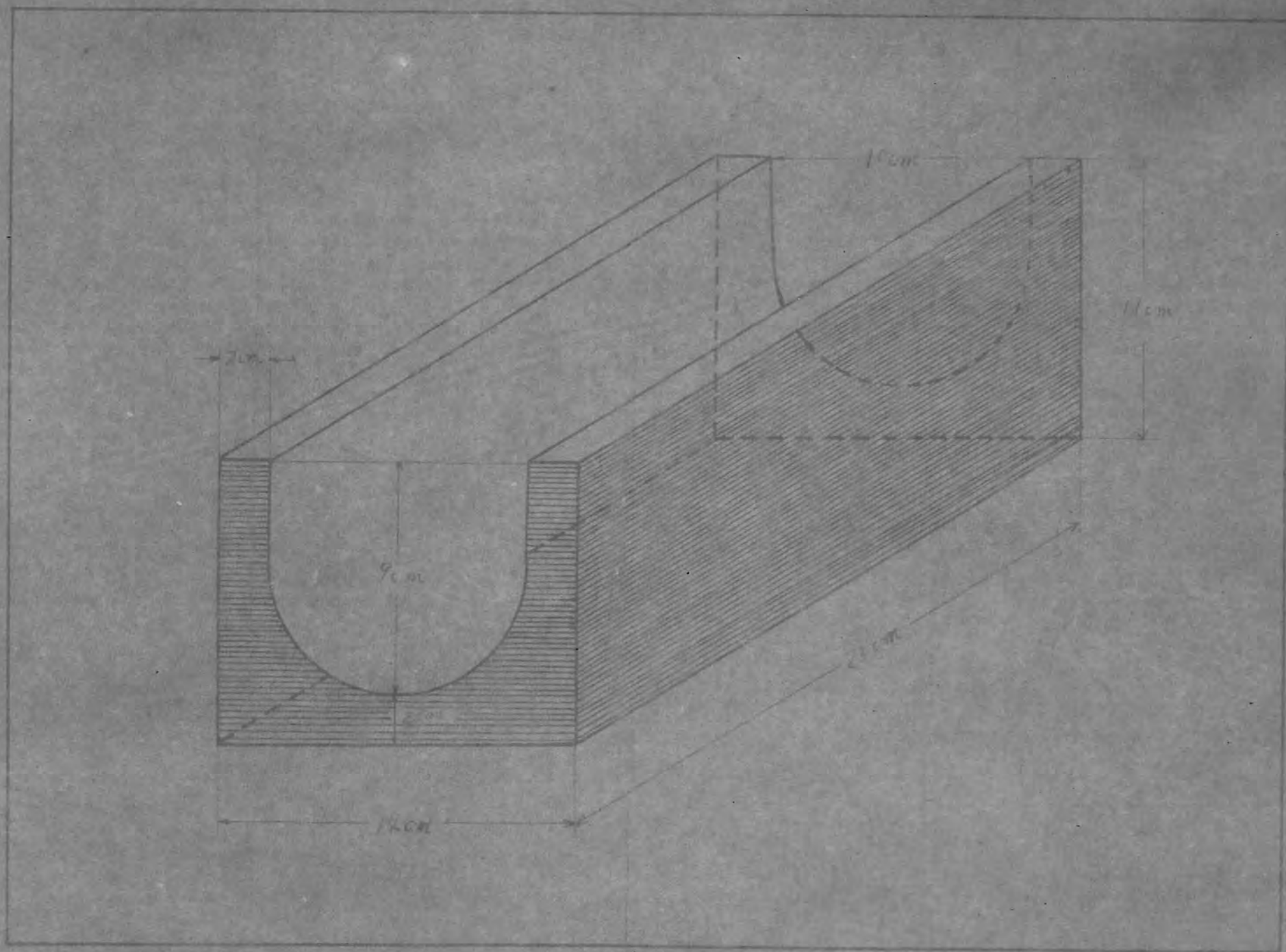
1mm厚、棒、電板

電極配置

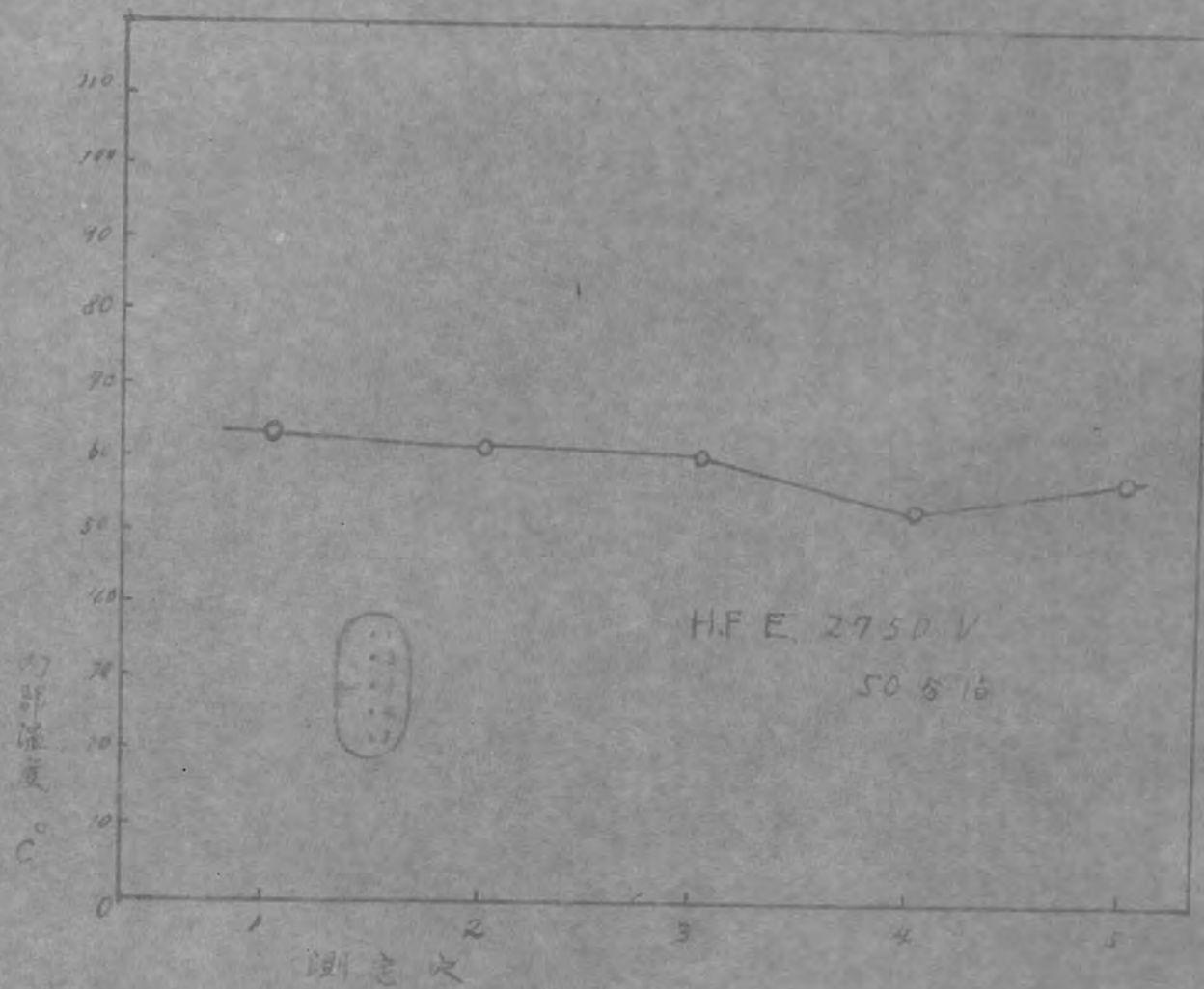
ボス加圧実験用

第一圖





第 104 图

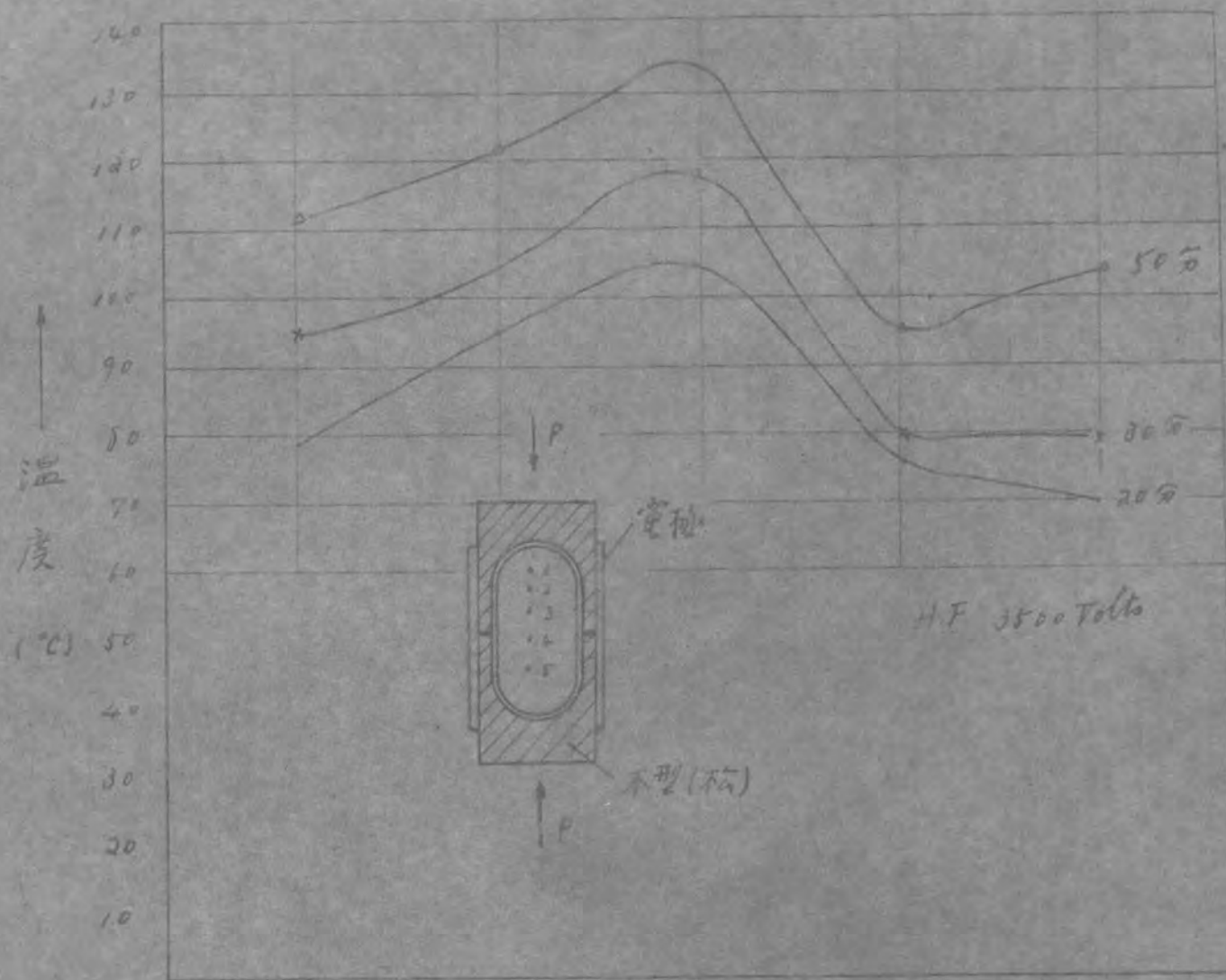


第 105 図

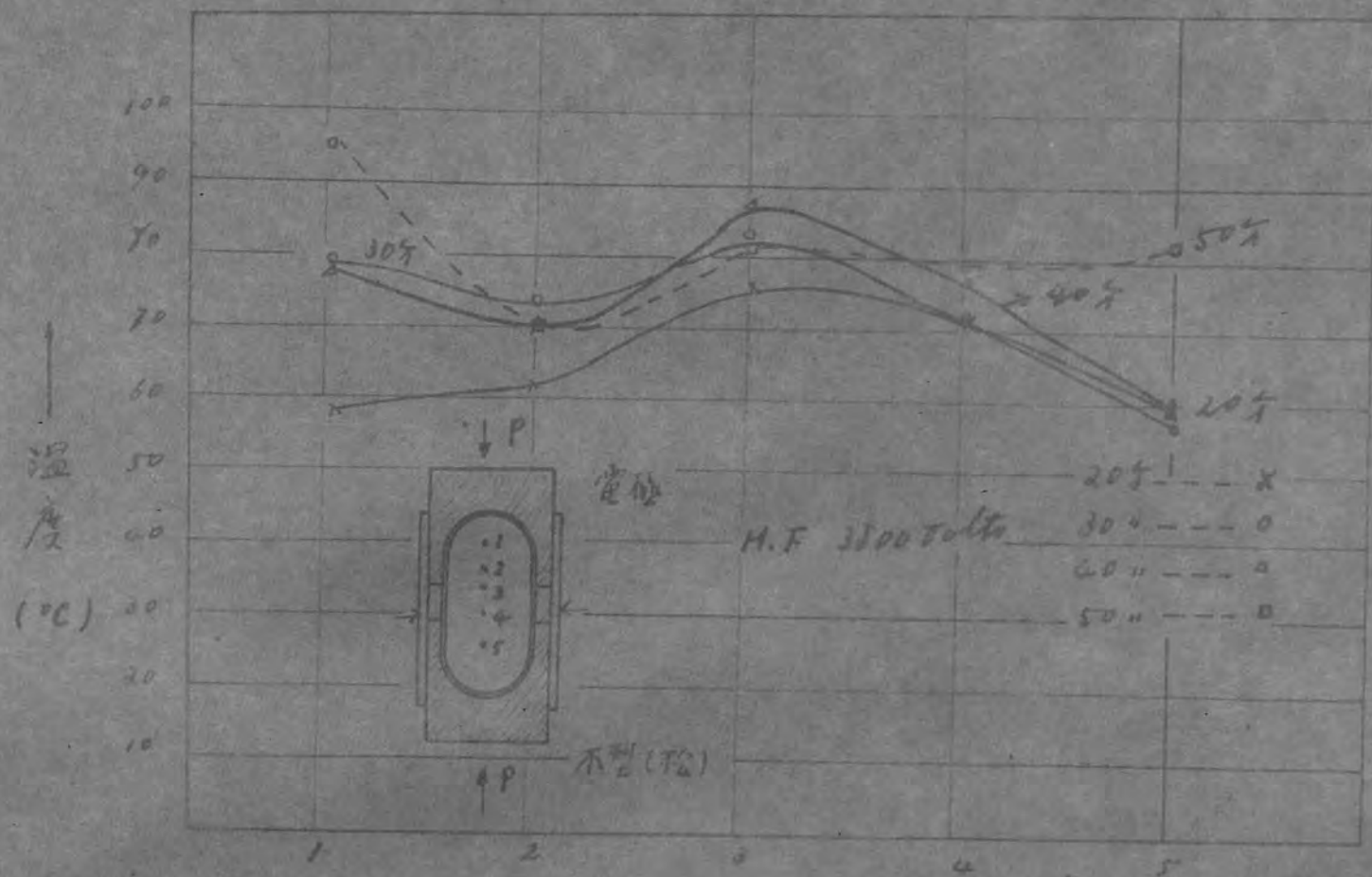


第 106 図



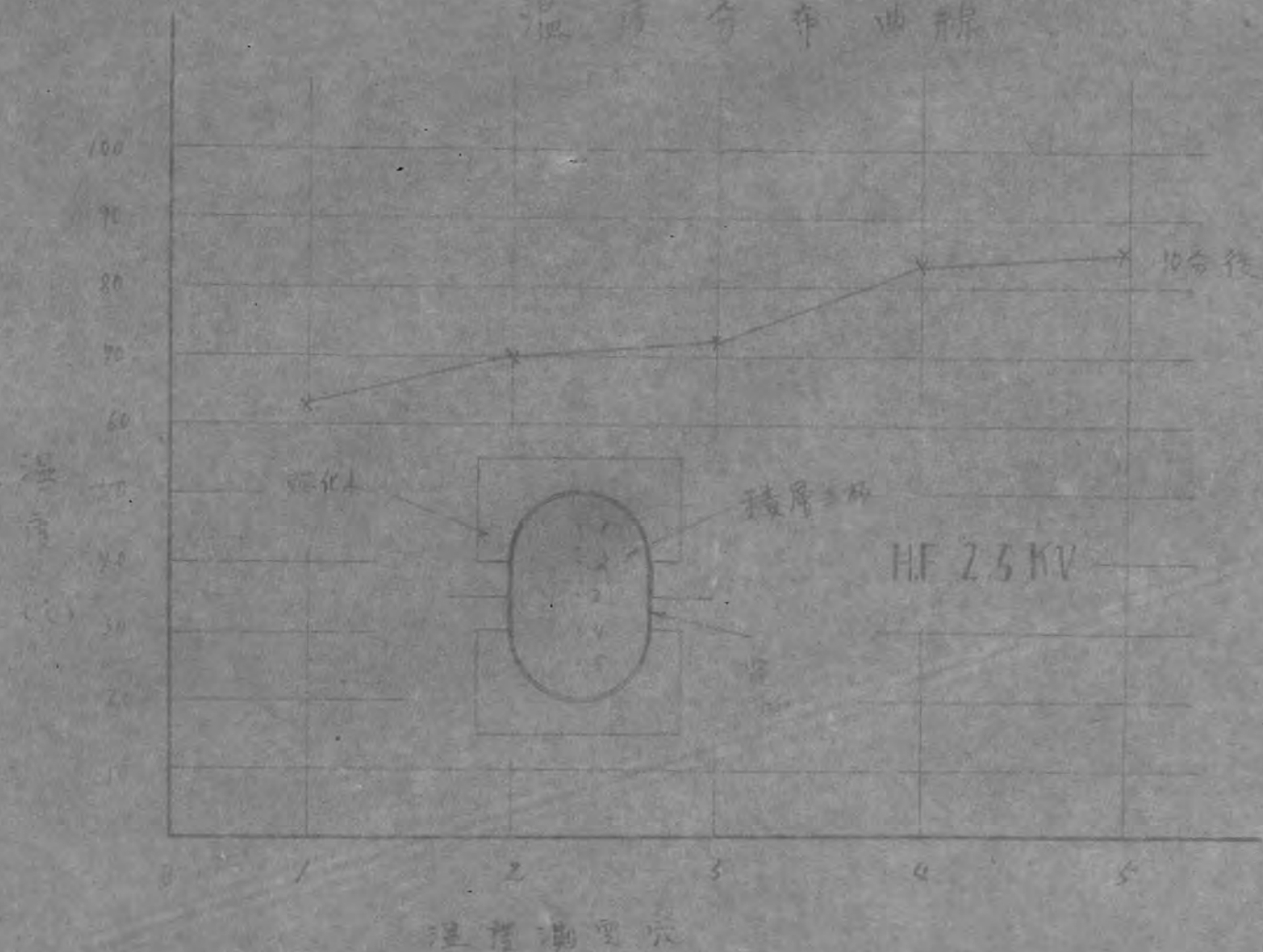


測定六番号 →



測定六番号

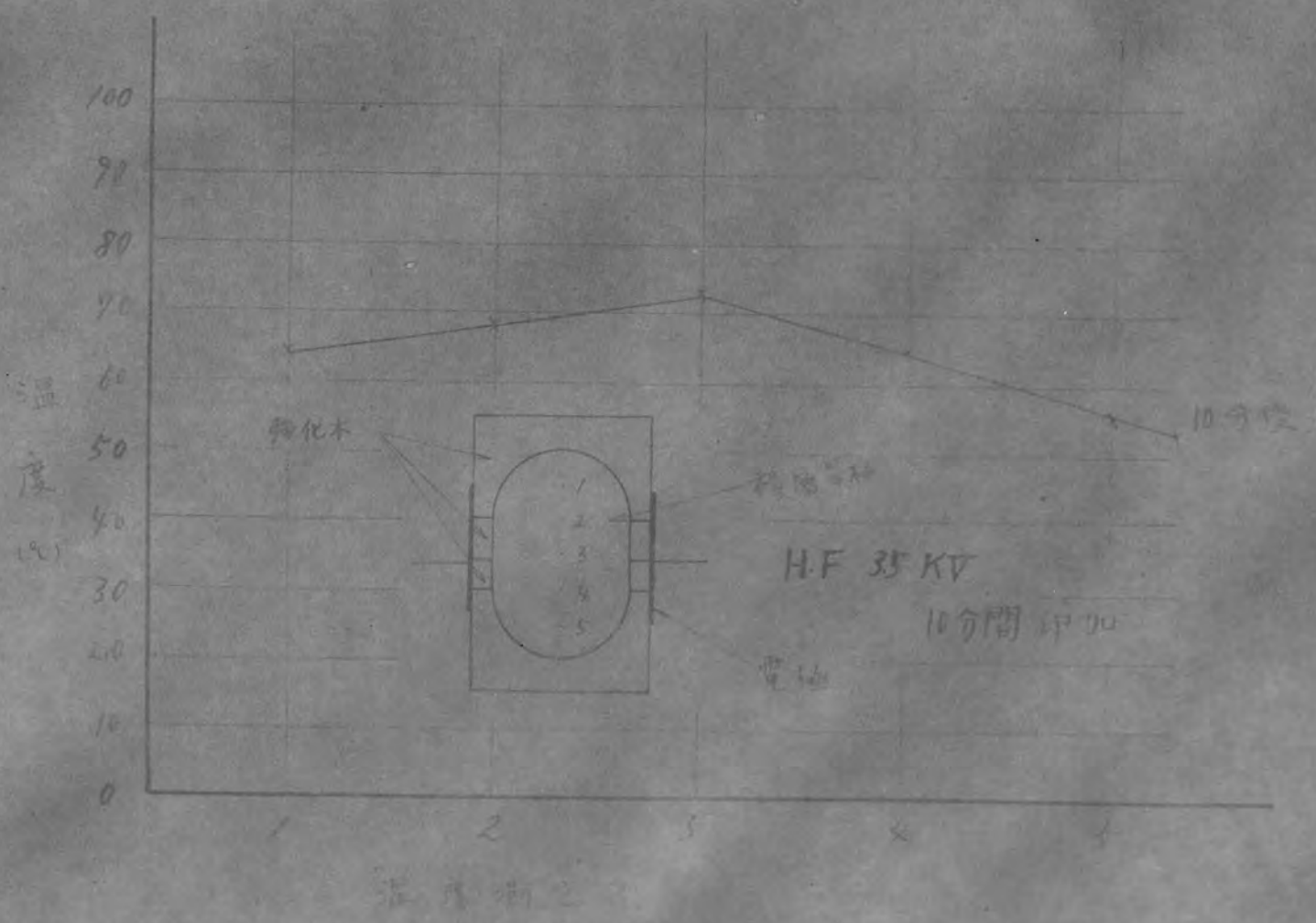
# 温度分布曲线



第 109 図



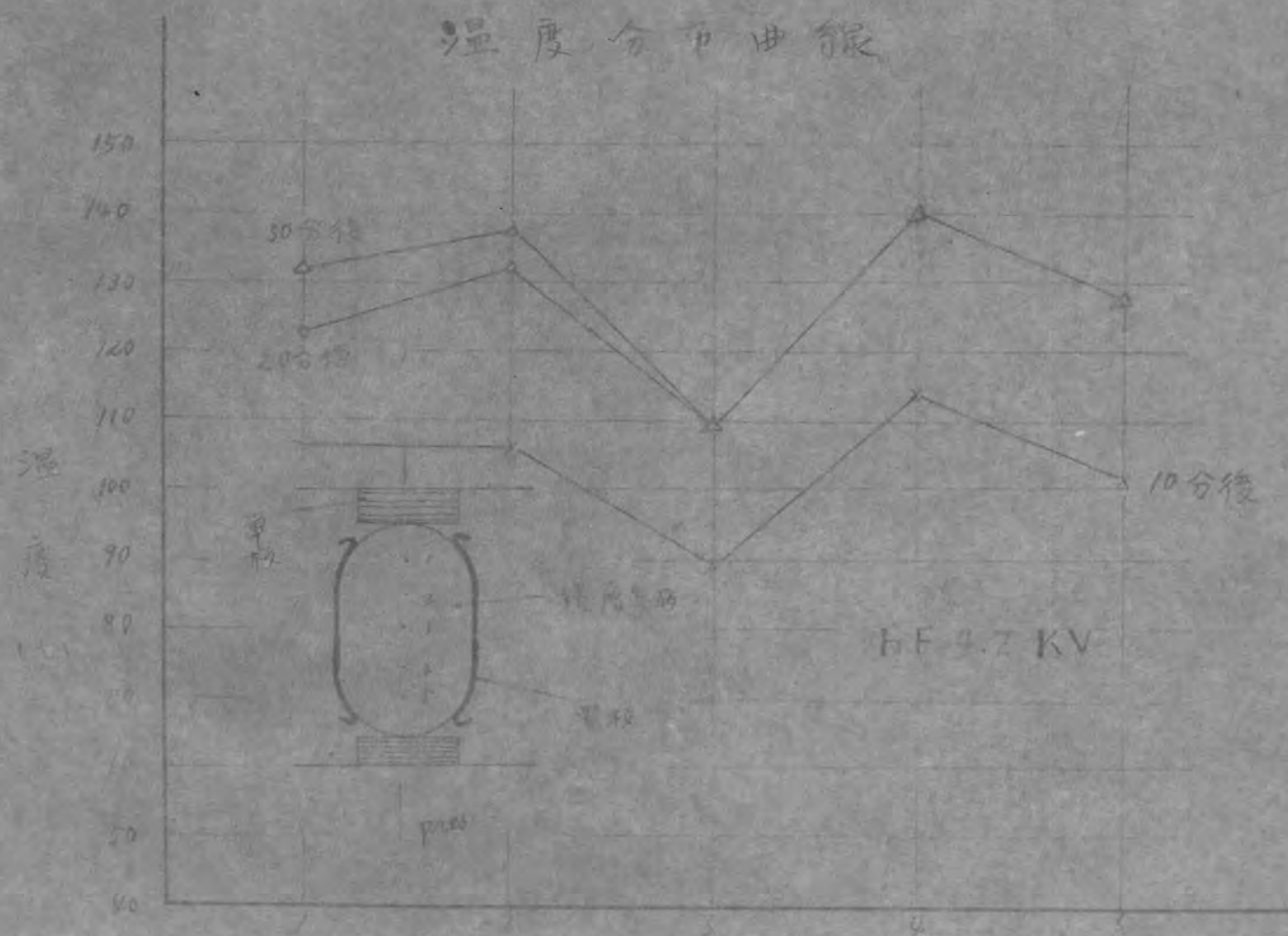
# 温度分布曲线



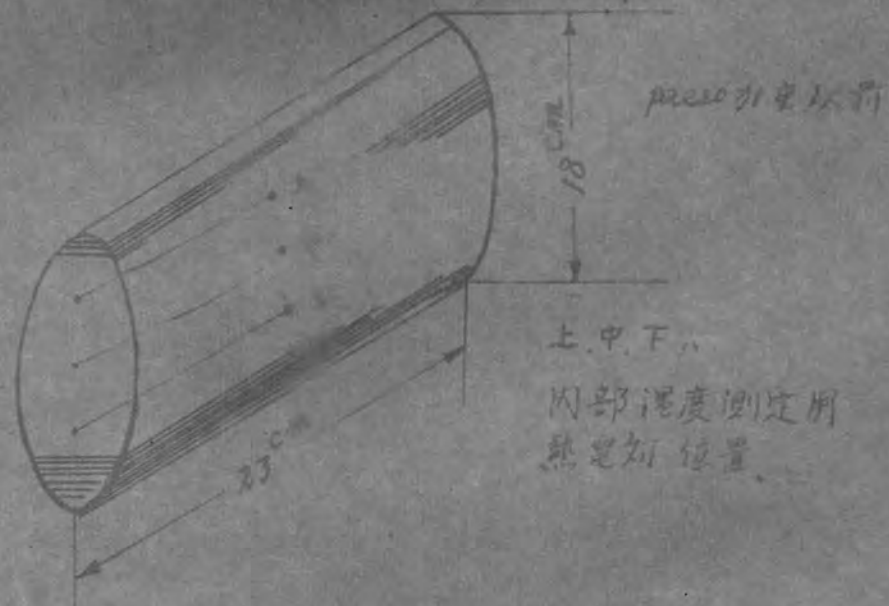
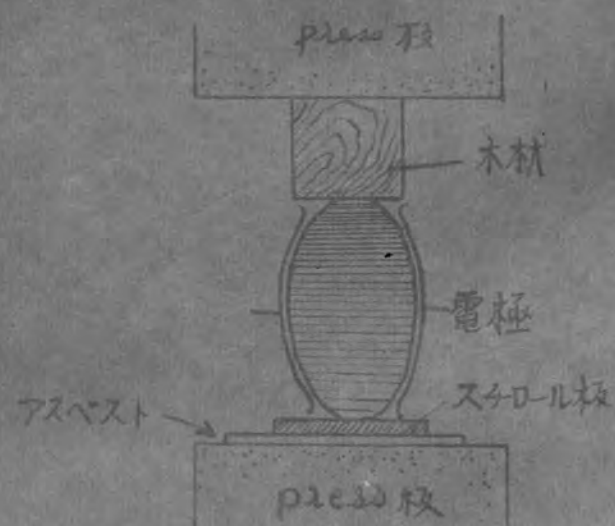
第 110 图



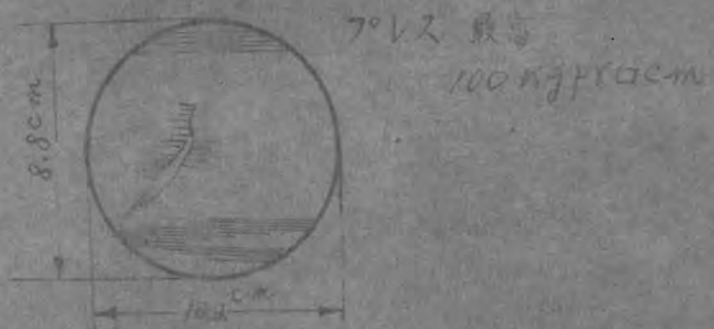
湿度分布曲线



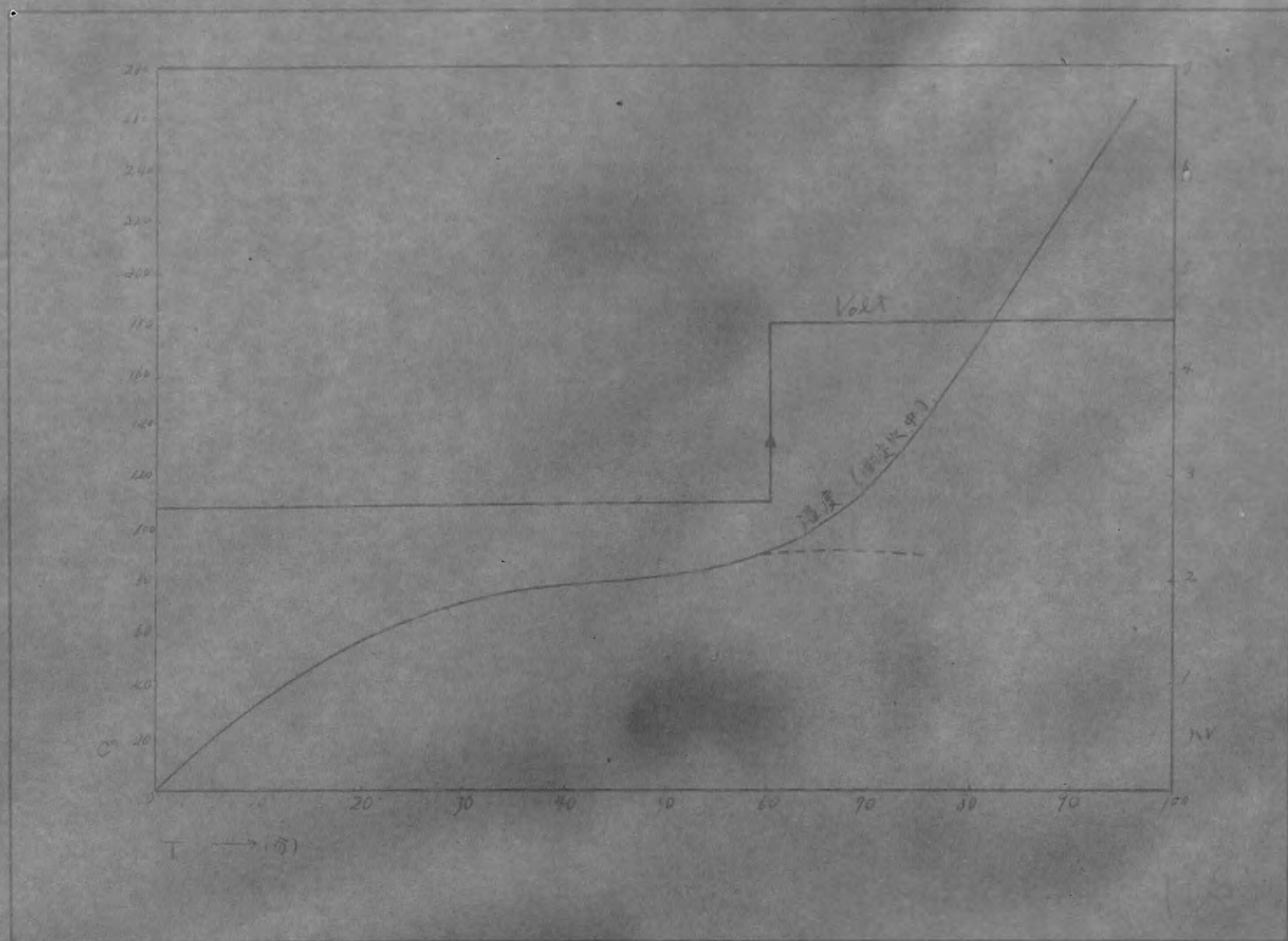
第 111 图



上図=示ス如クプレス試験料、1個=  
 press板、1枚を7防グ目的で木材ヲ入レタ  
 其、入レタ木材、100 kgf/cm<sup>2</sup>、加圧テ  
 原型ヲキ状態ニ変態サレタ  
 此ニ試験料ニ對シ上下、板ガ平板、10×  
 試験料、板ハル圧カヲ不均一、左×右、  
 同、如クキレツヲ生ジタ

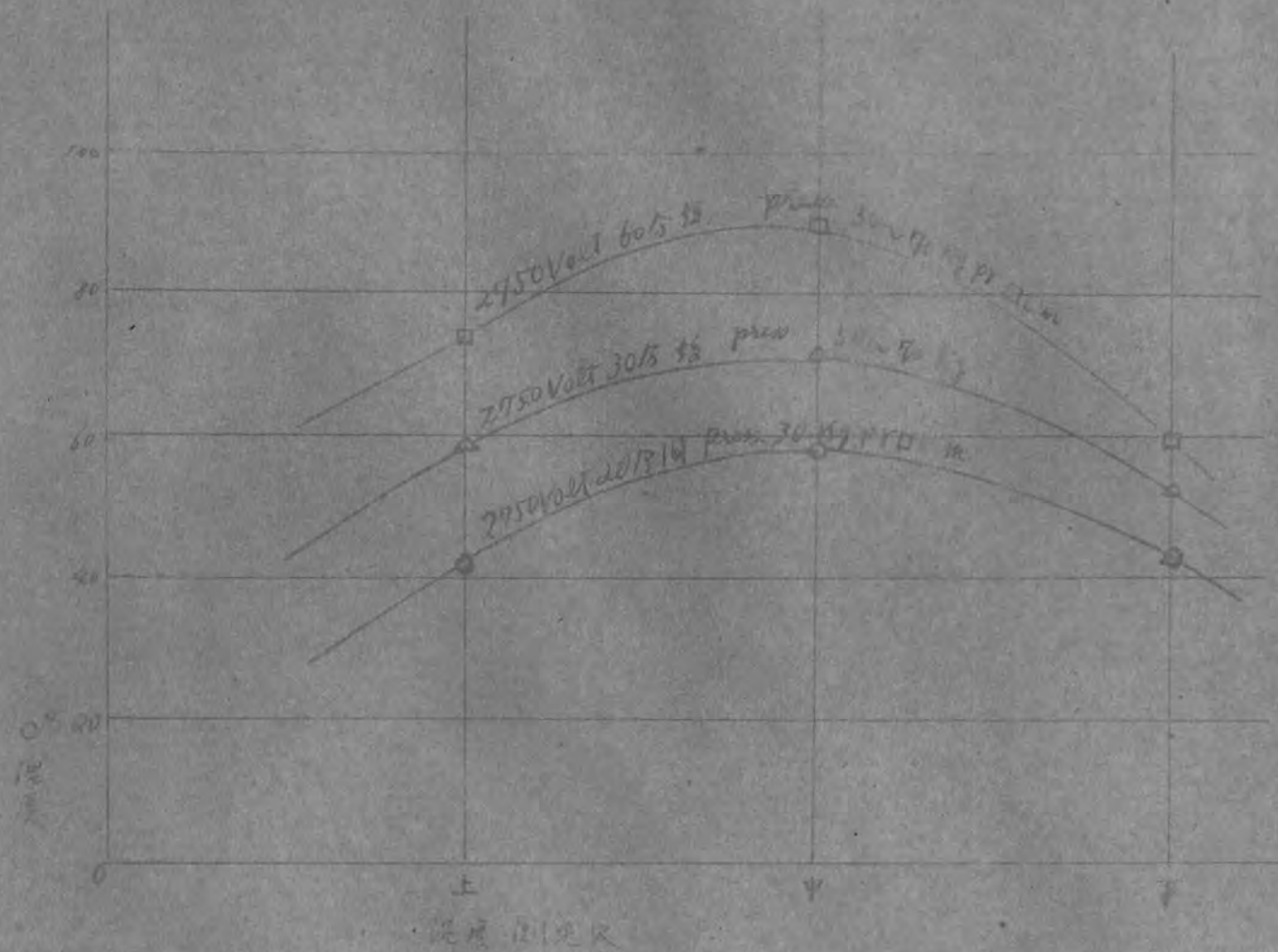


第 112 図

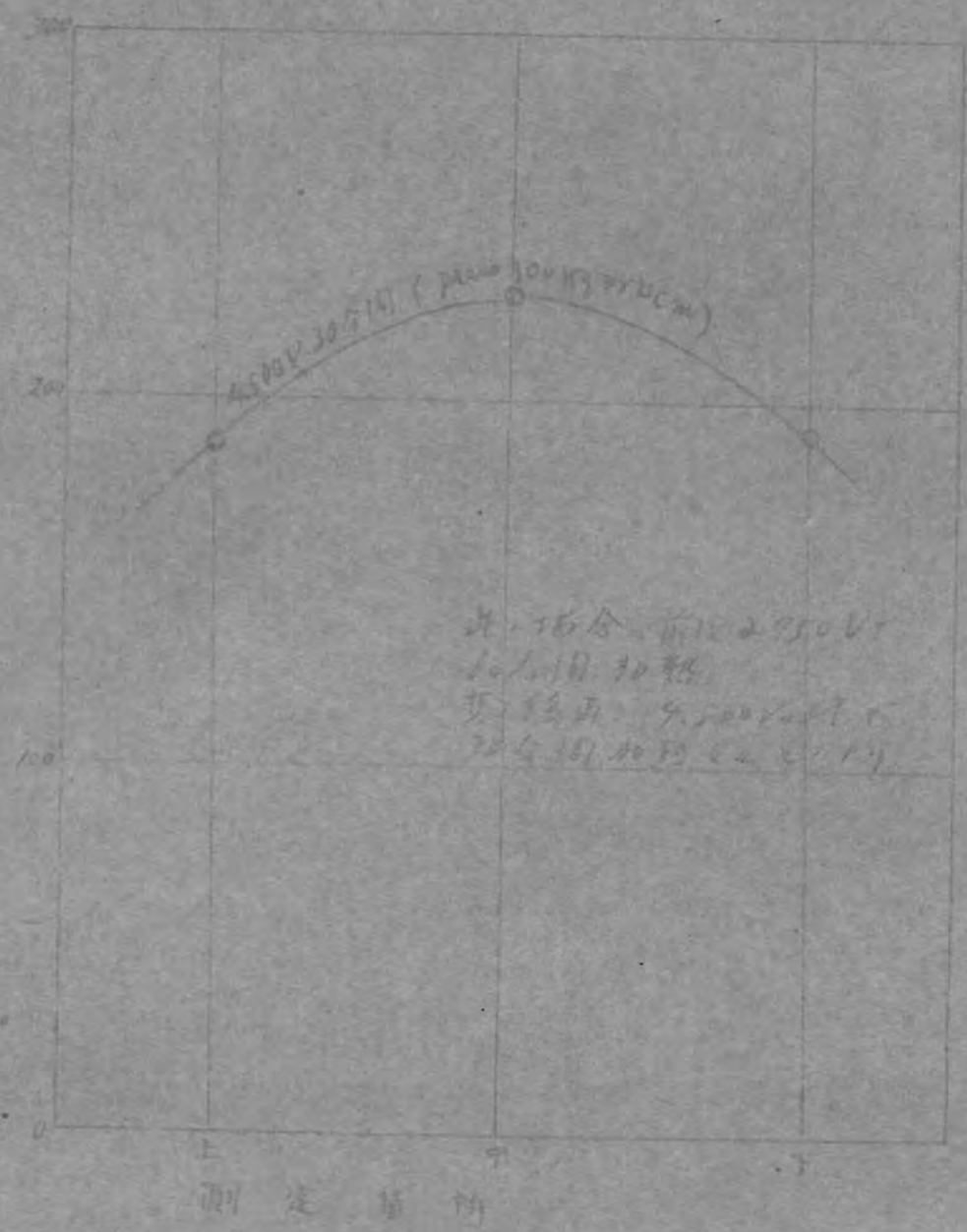


第 113 图

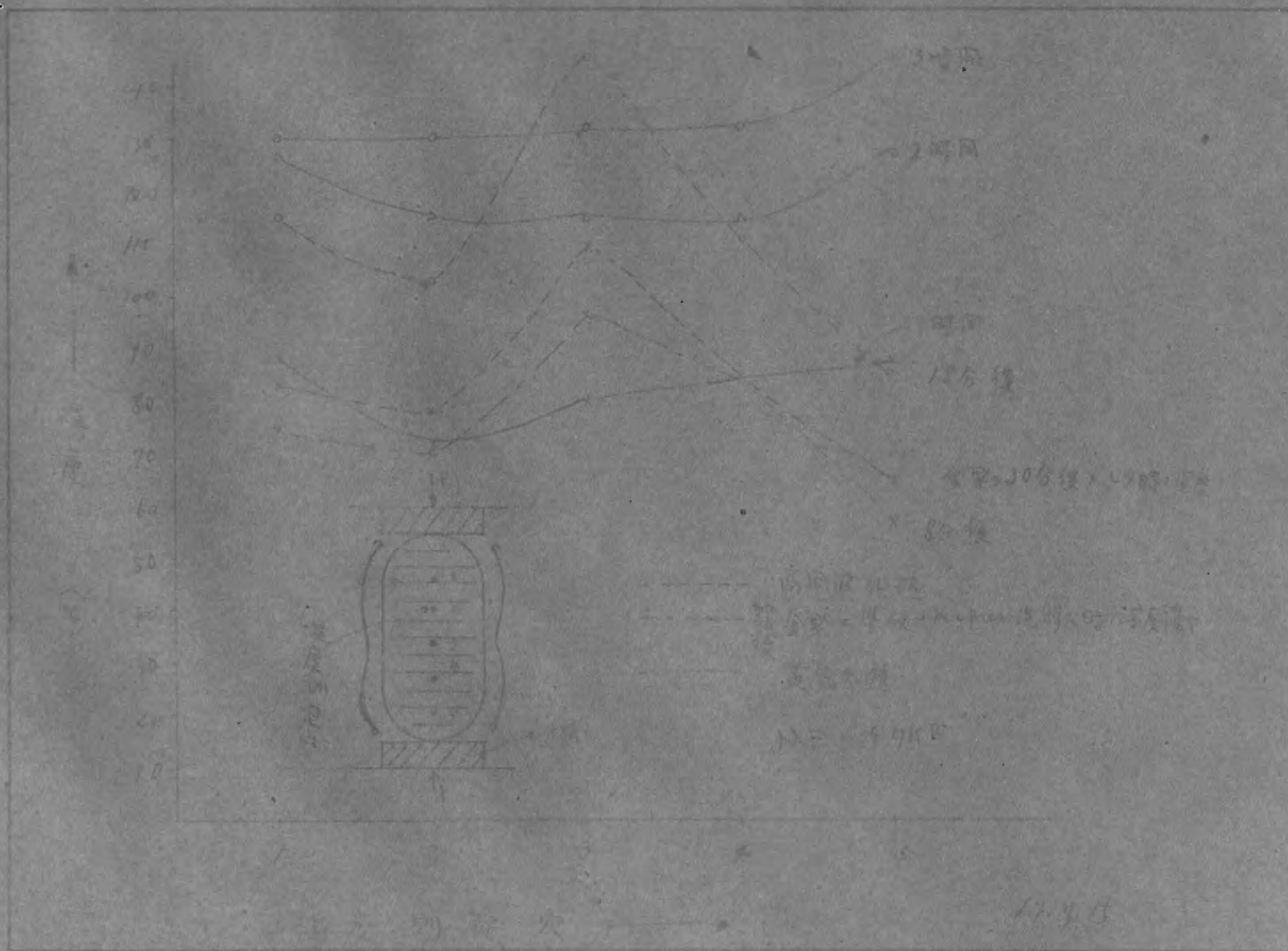




第 114 图

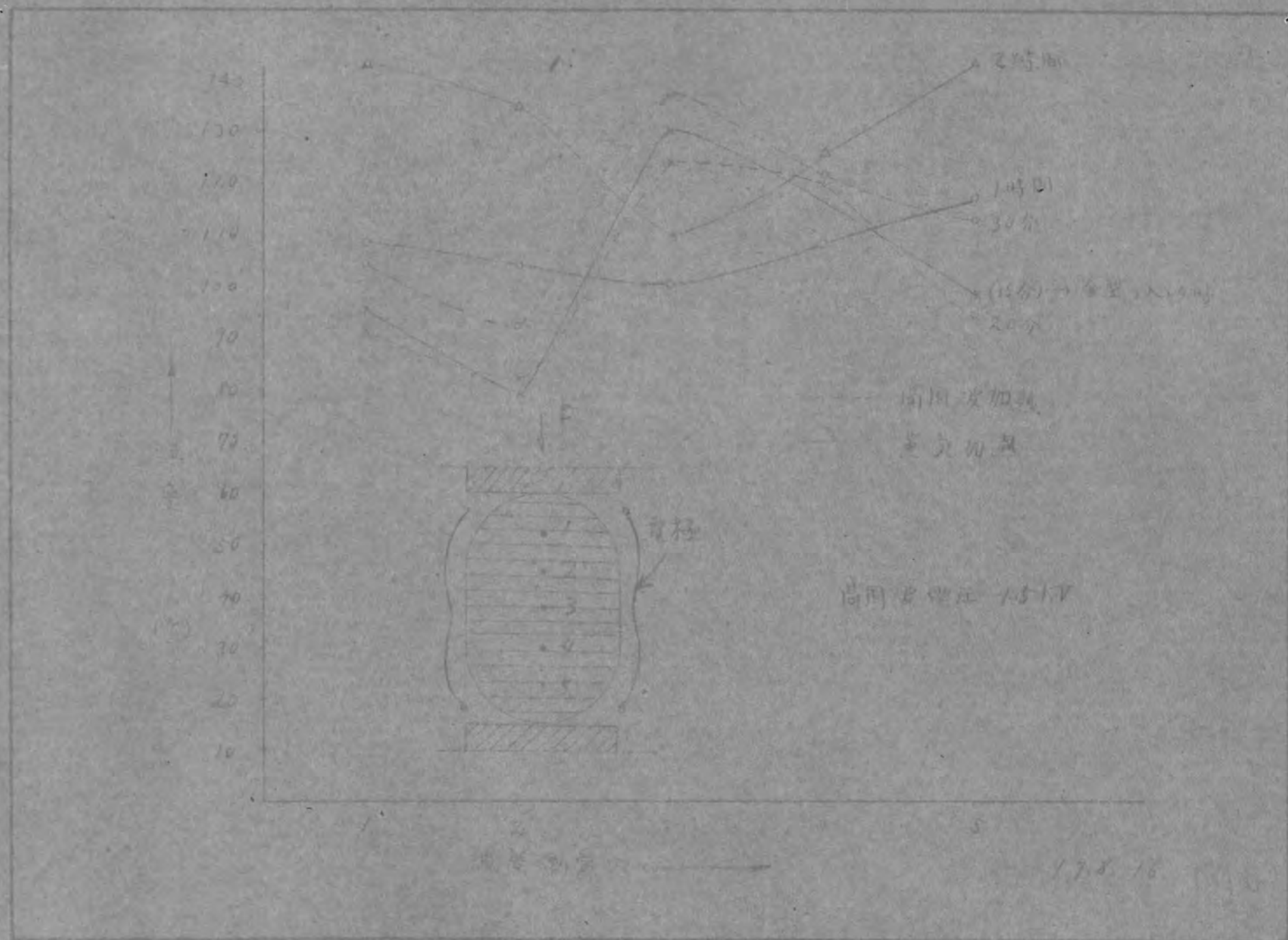


第 115 図



第 116 图



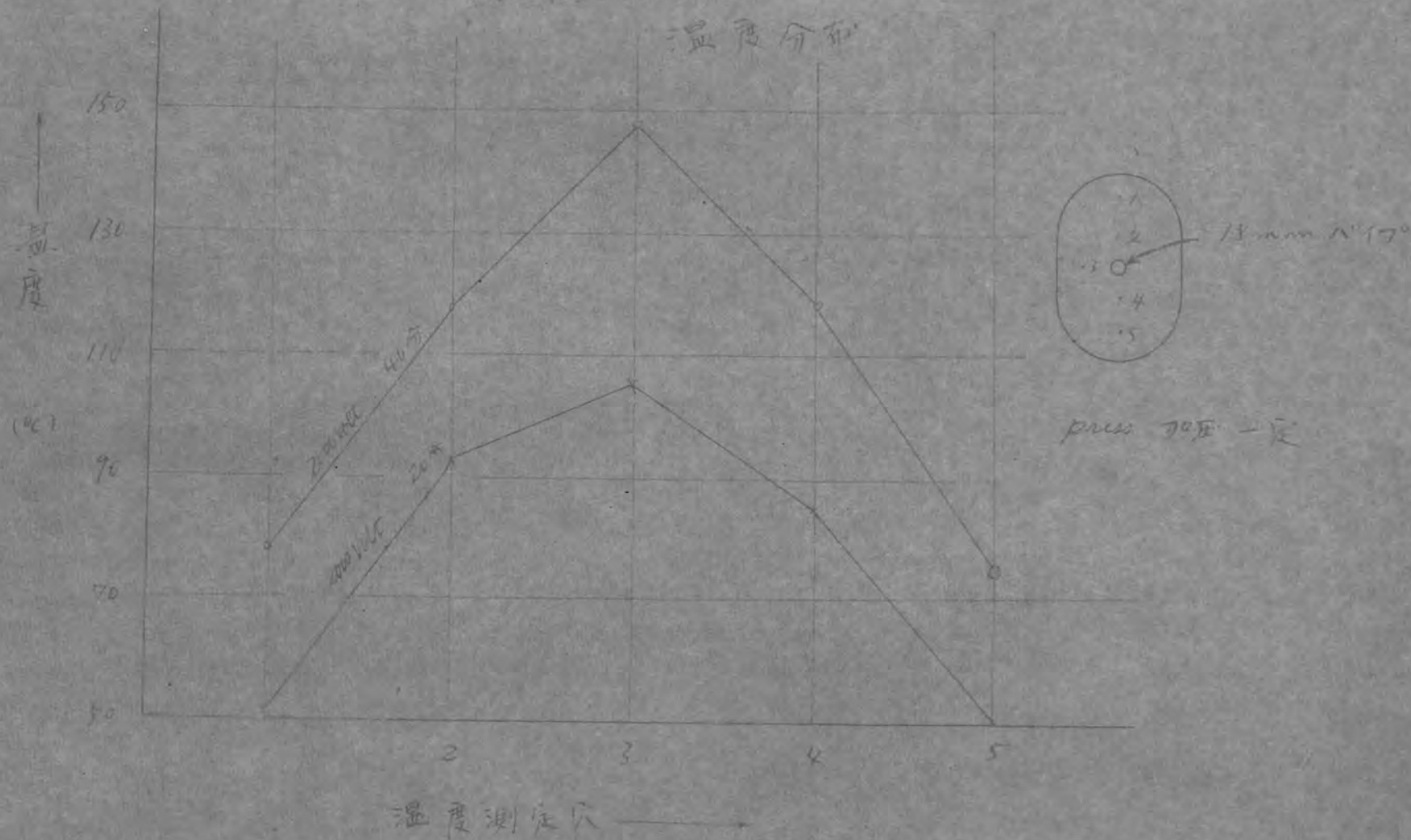


第 117 图

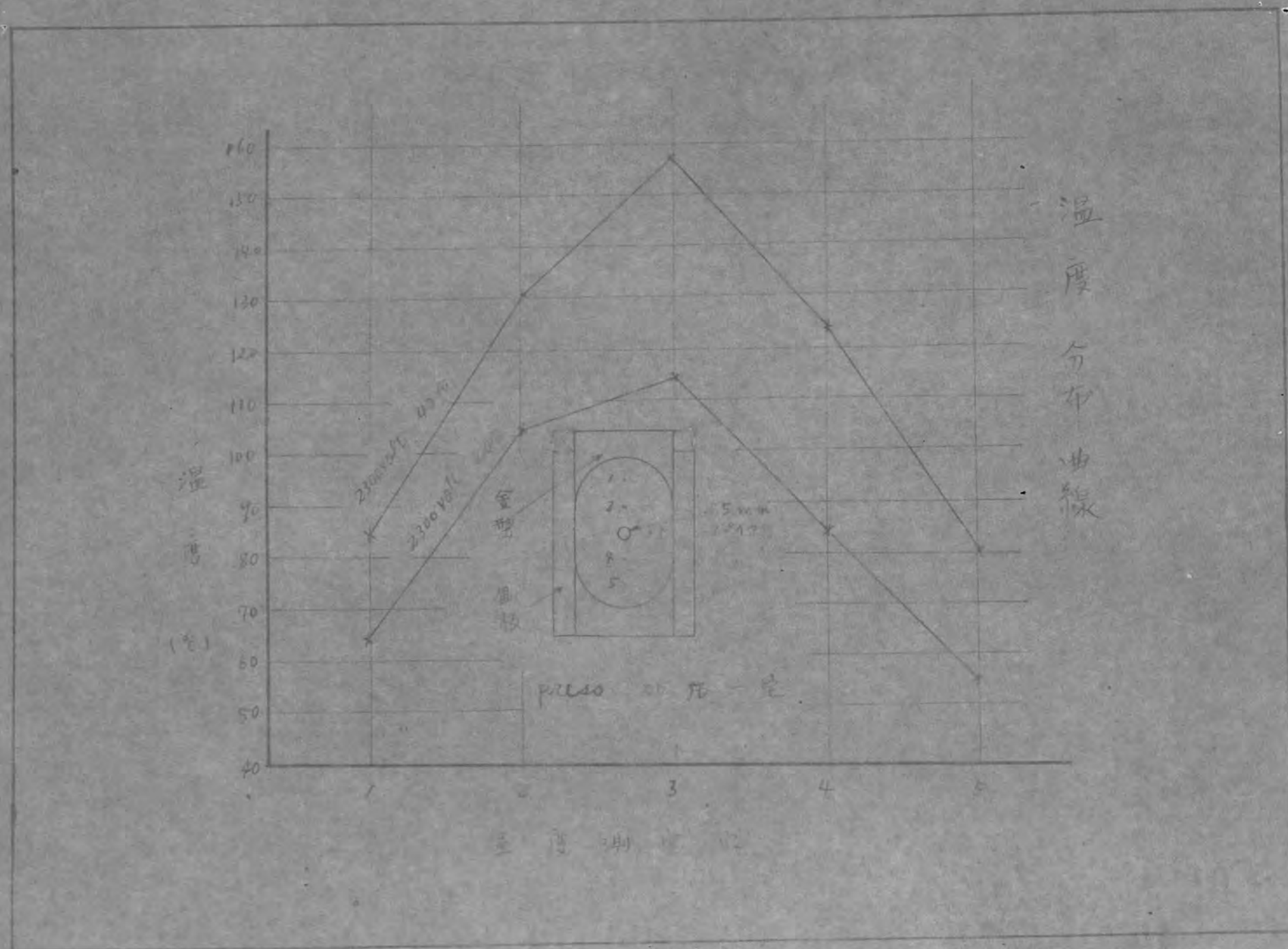


中心電極小型実験

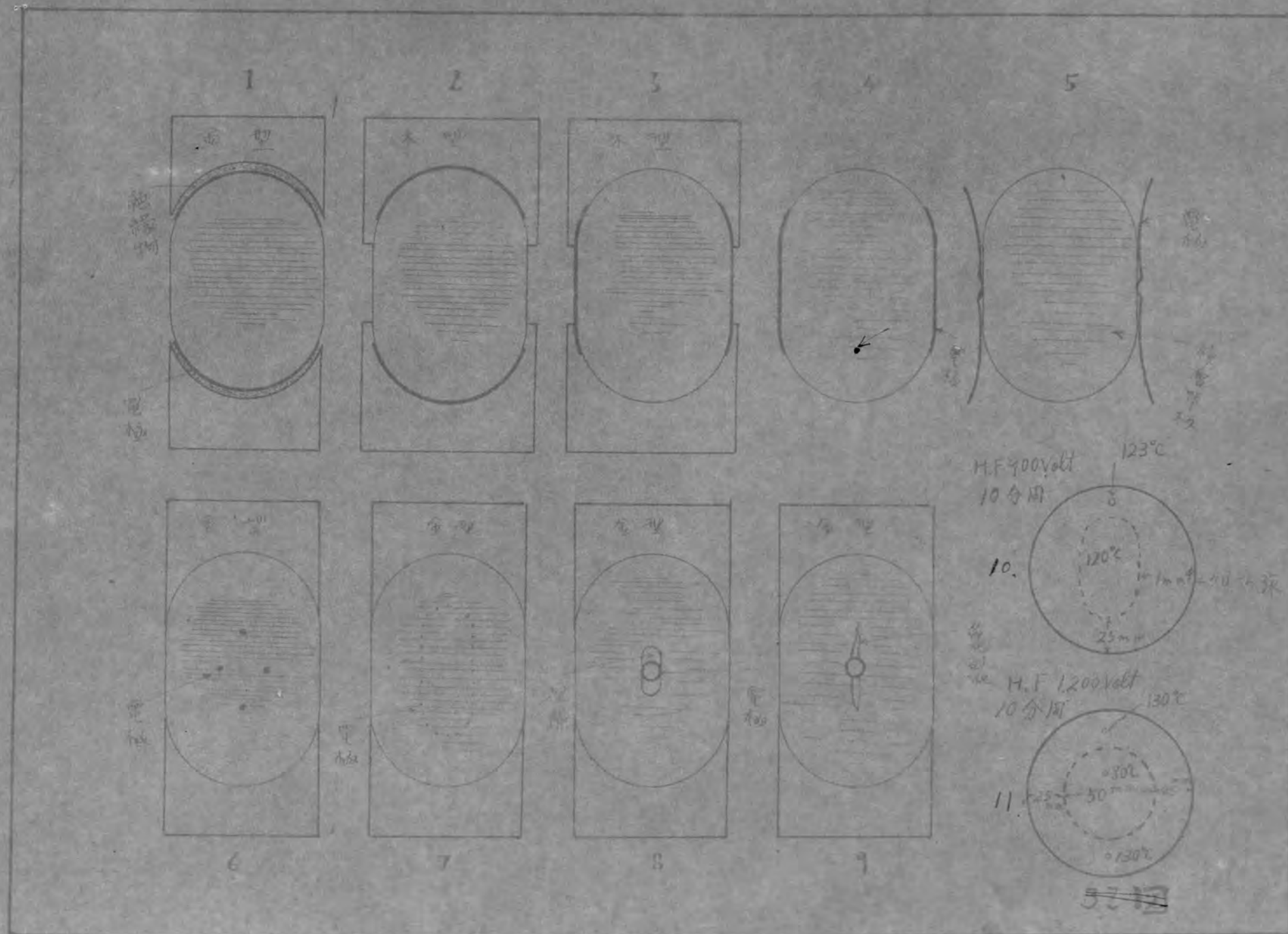
温度分布



第 118 図

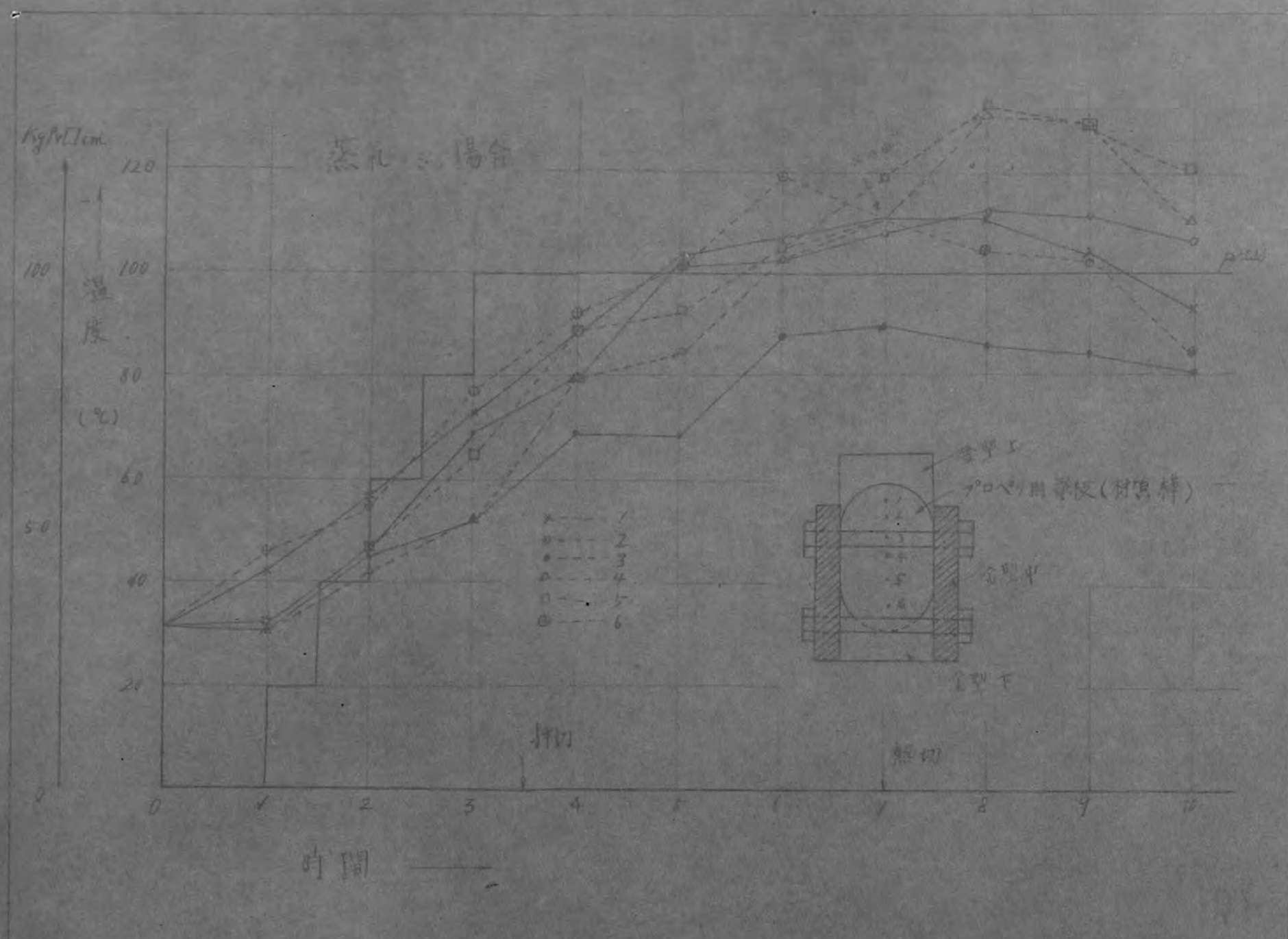


第 119 圖

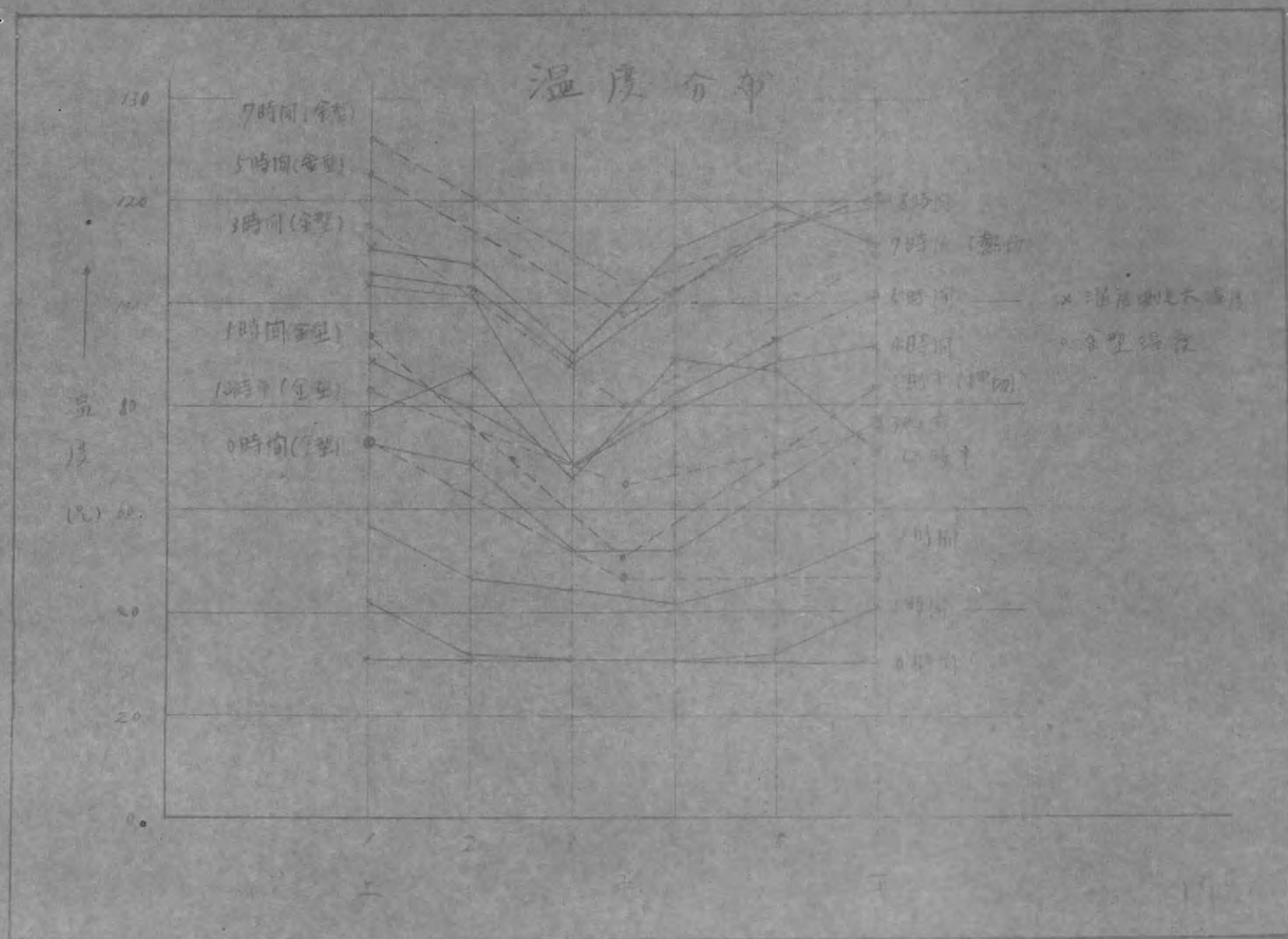


第 120 图



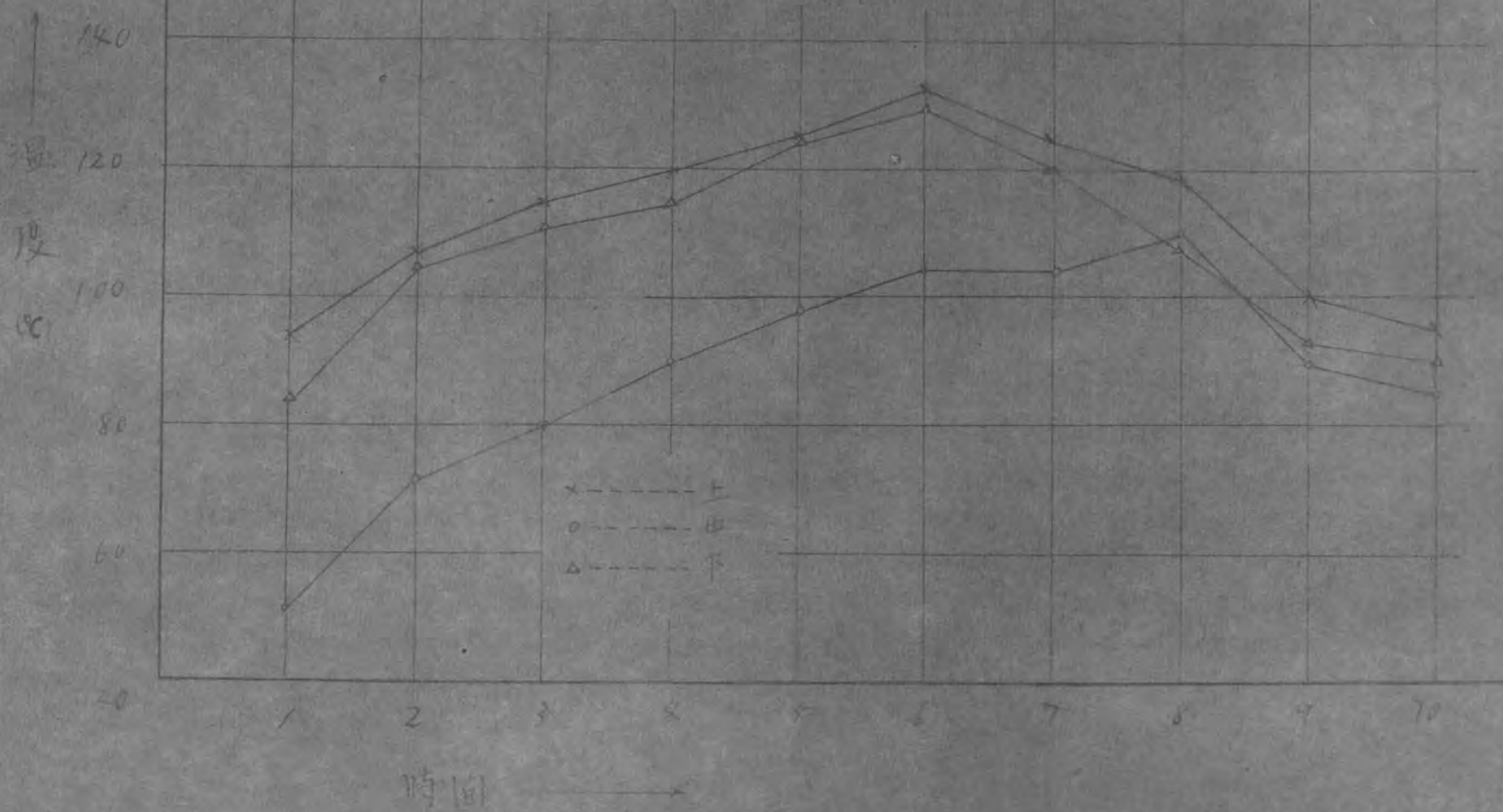


第 121 図



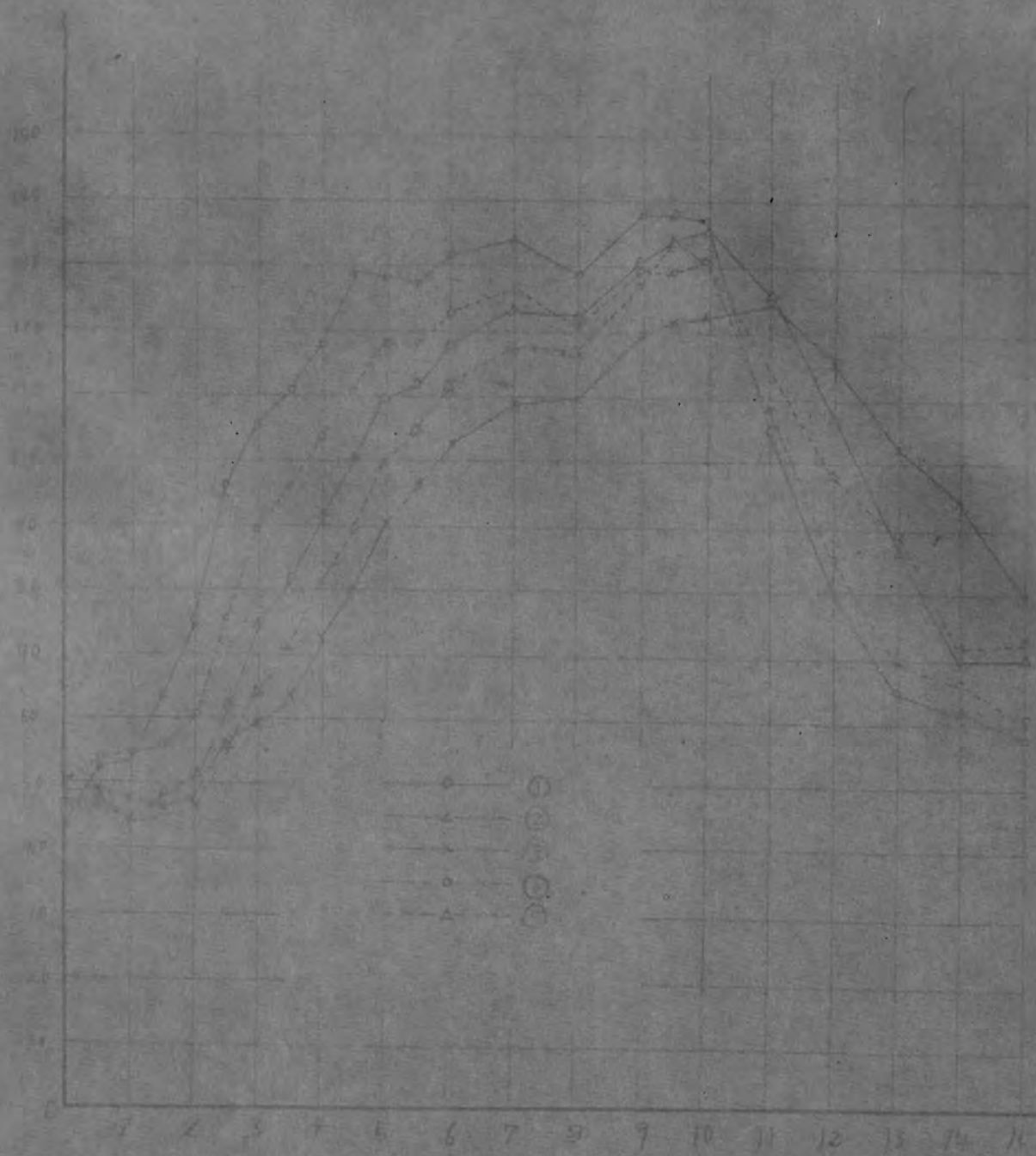
第 122 图

金型温度上昇曲线

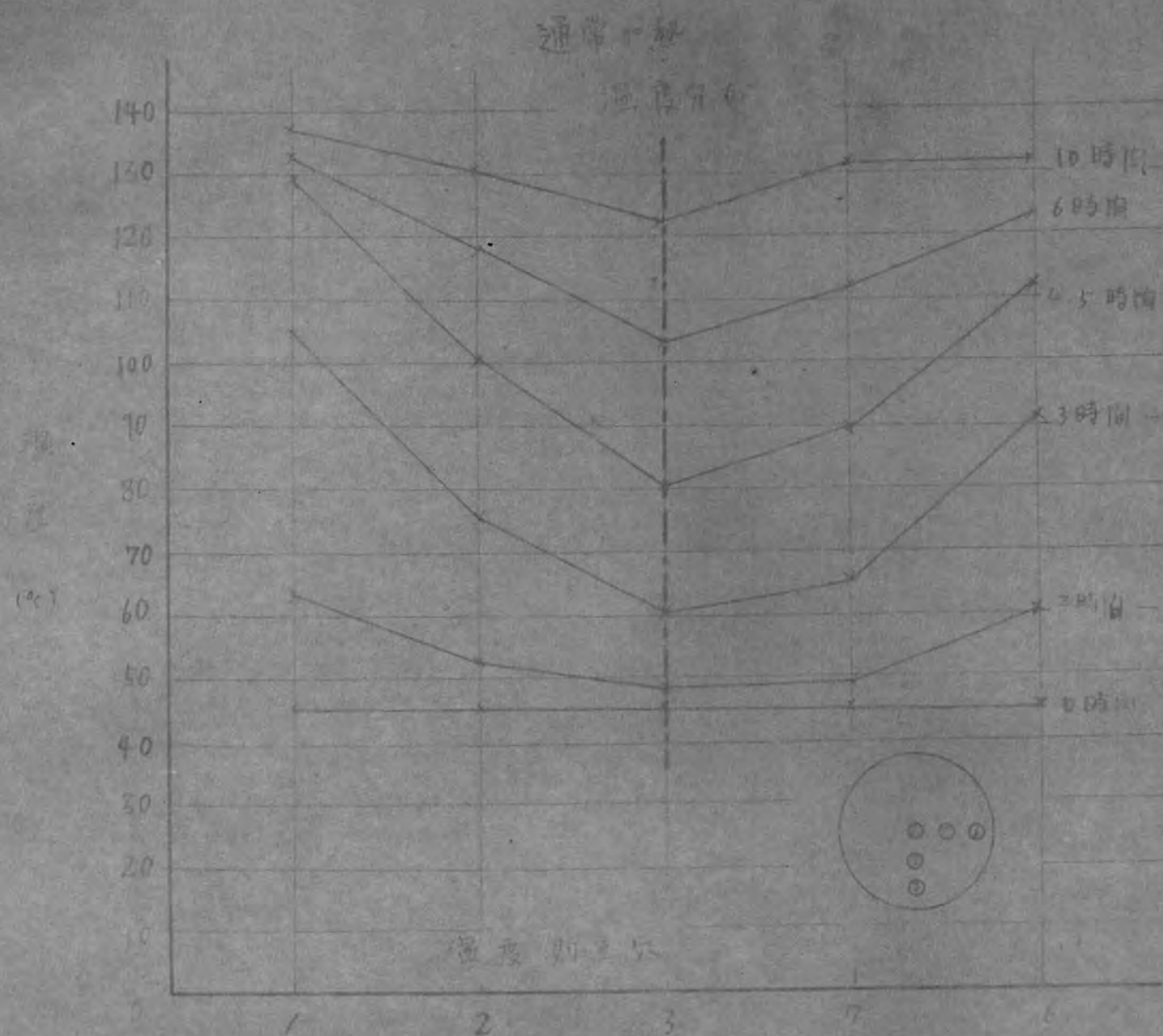




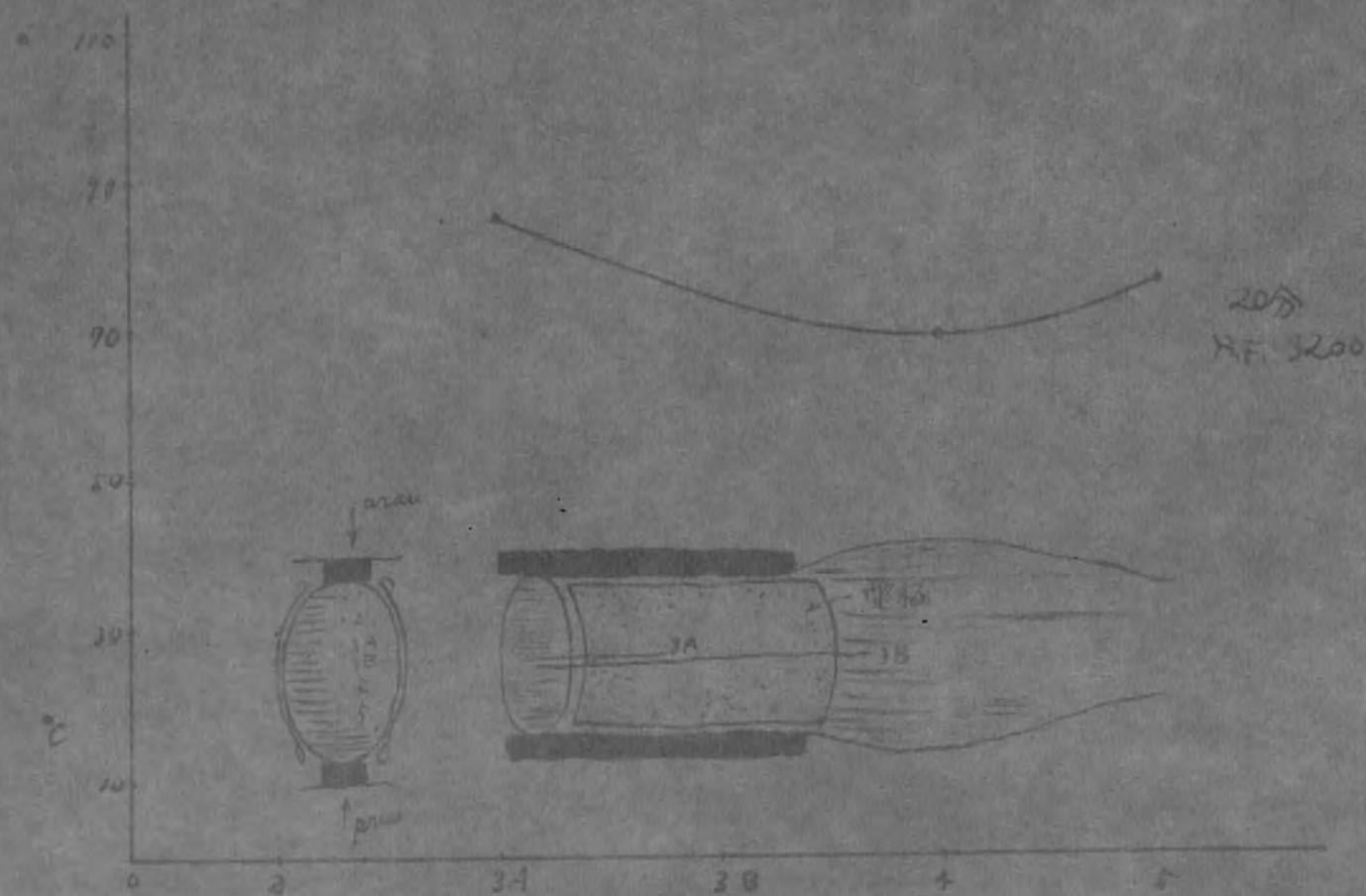
# 時間-温度 曲線





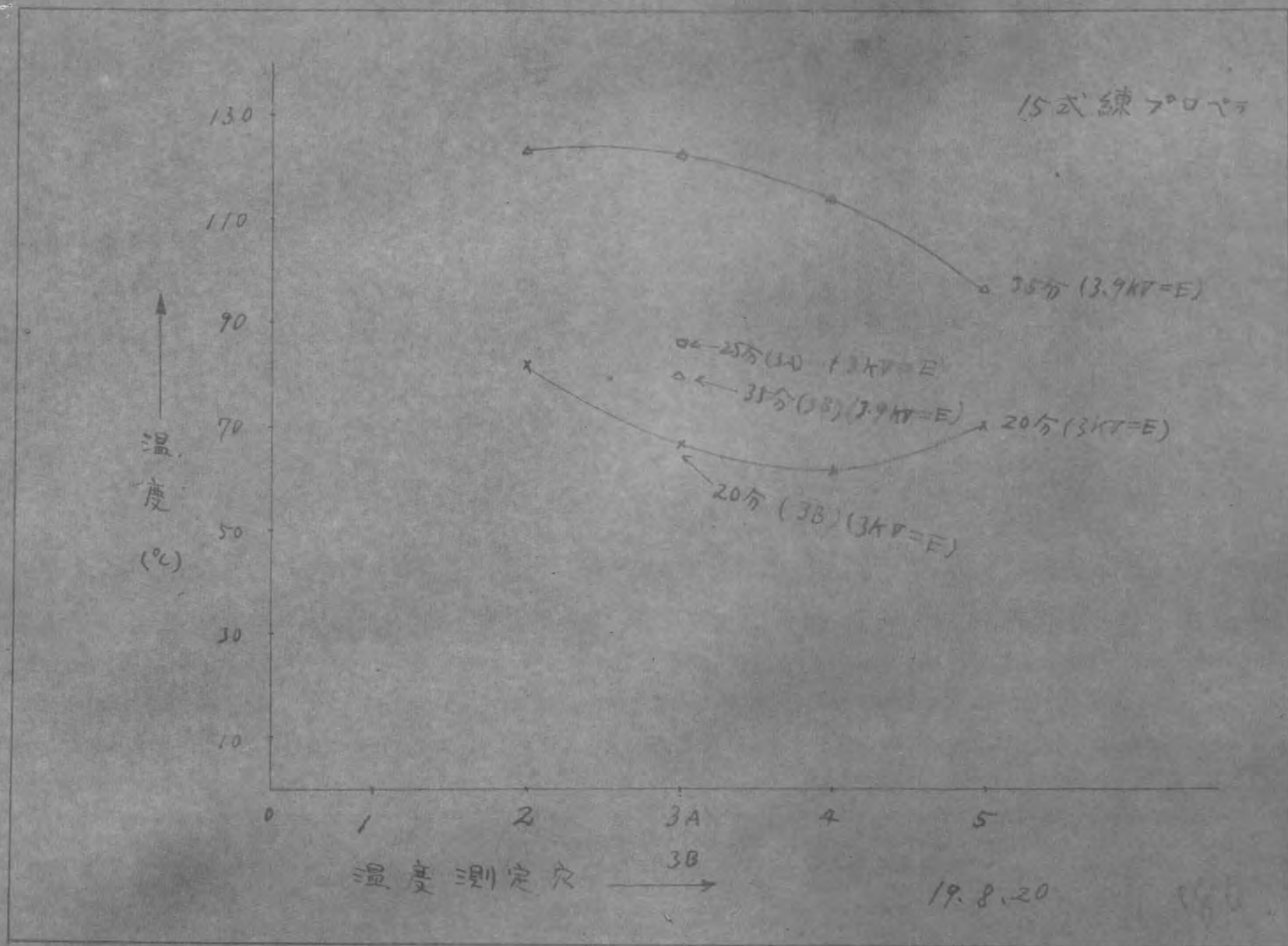


第 125 圖



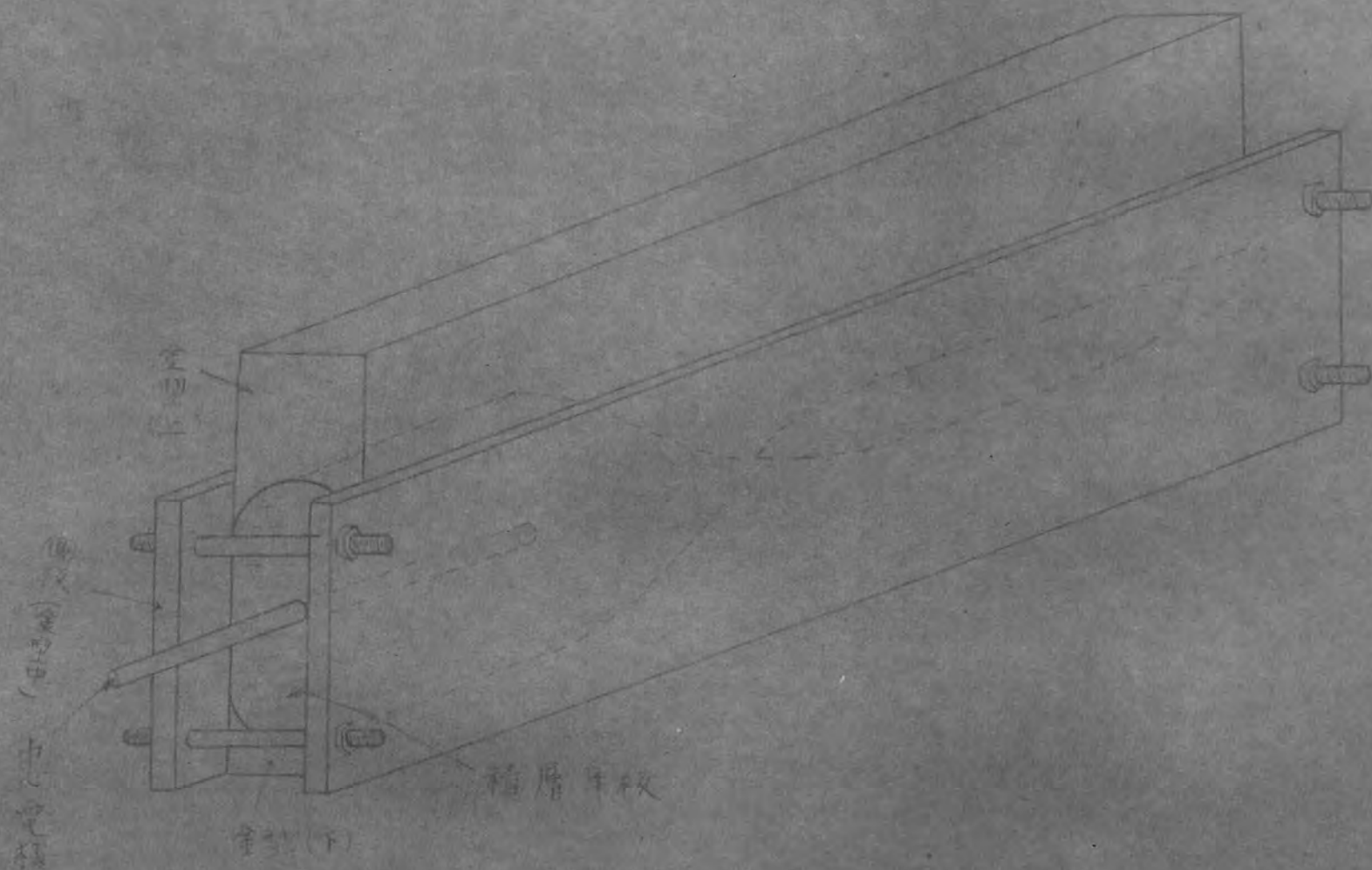
第 126 図

19. 8. 19.

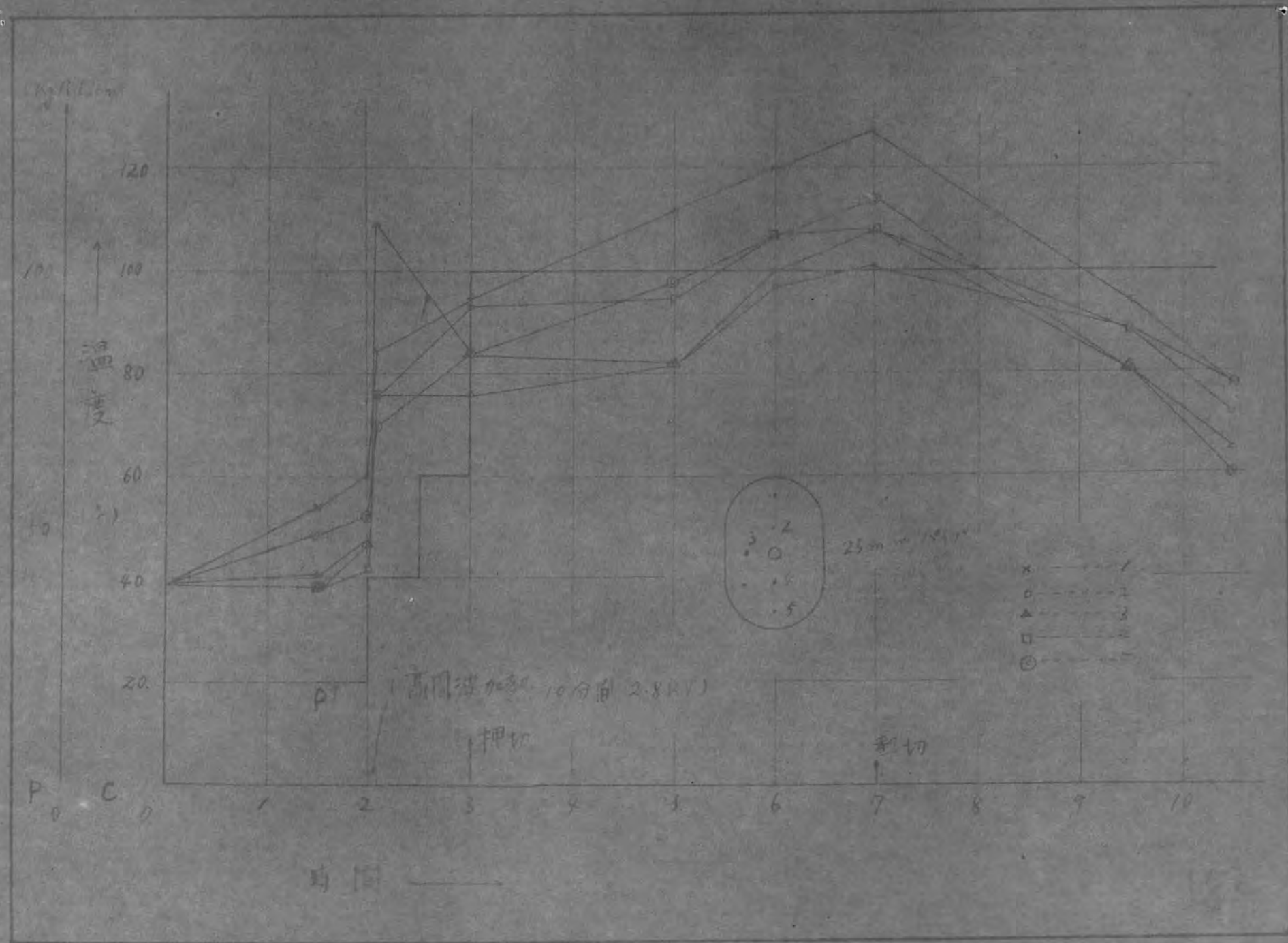


第 127 图

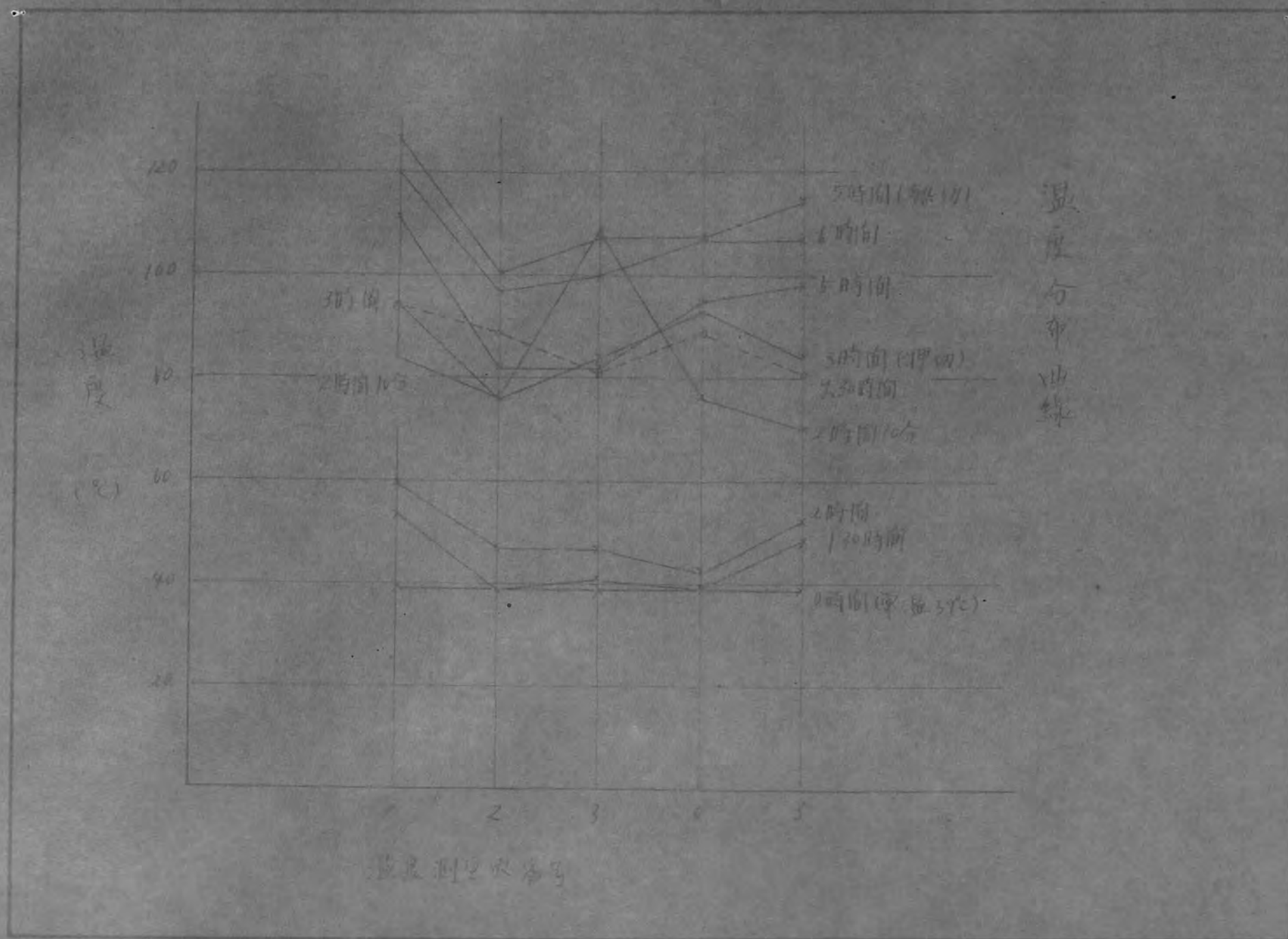




第 128 圖



第 129 图

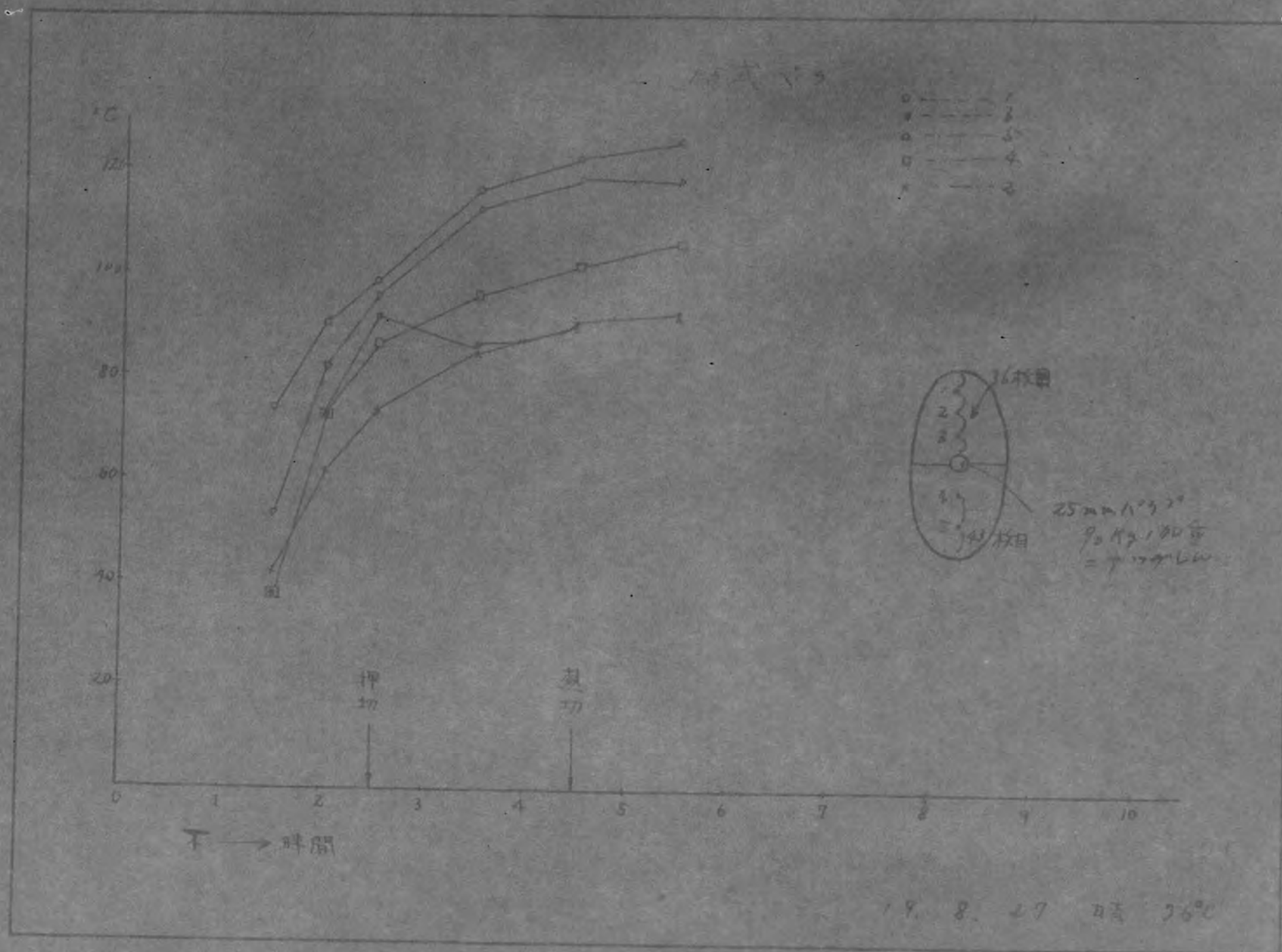


第 130 圖

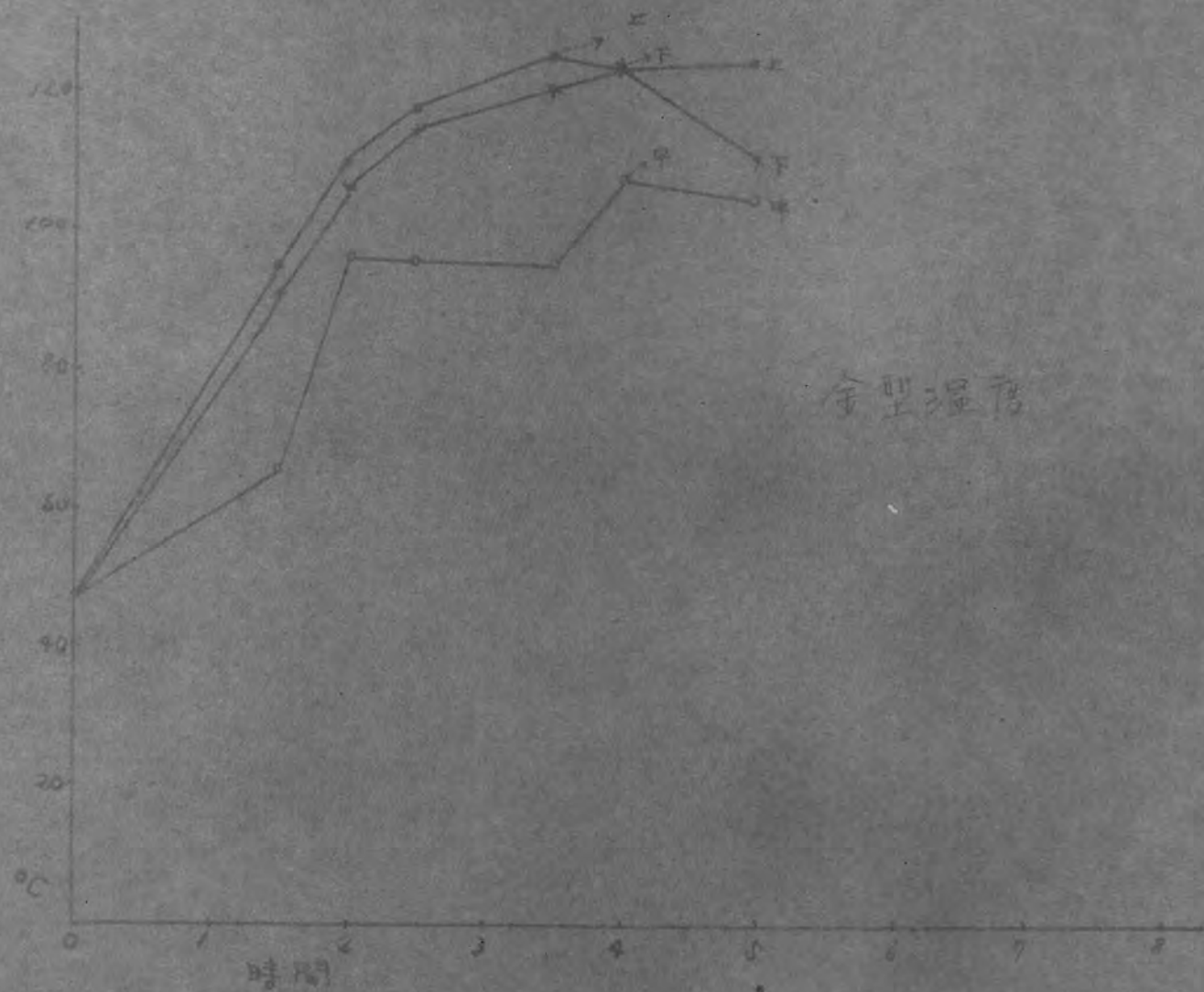






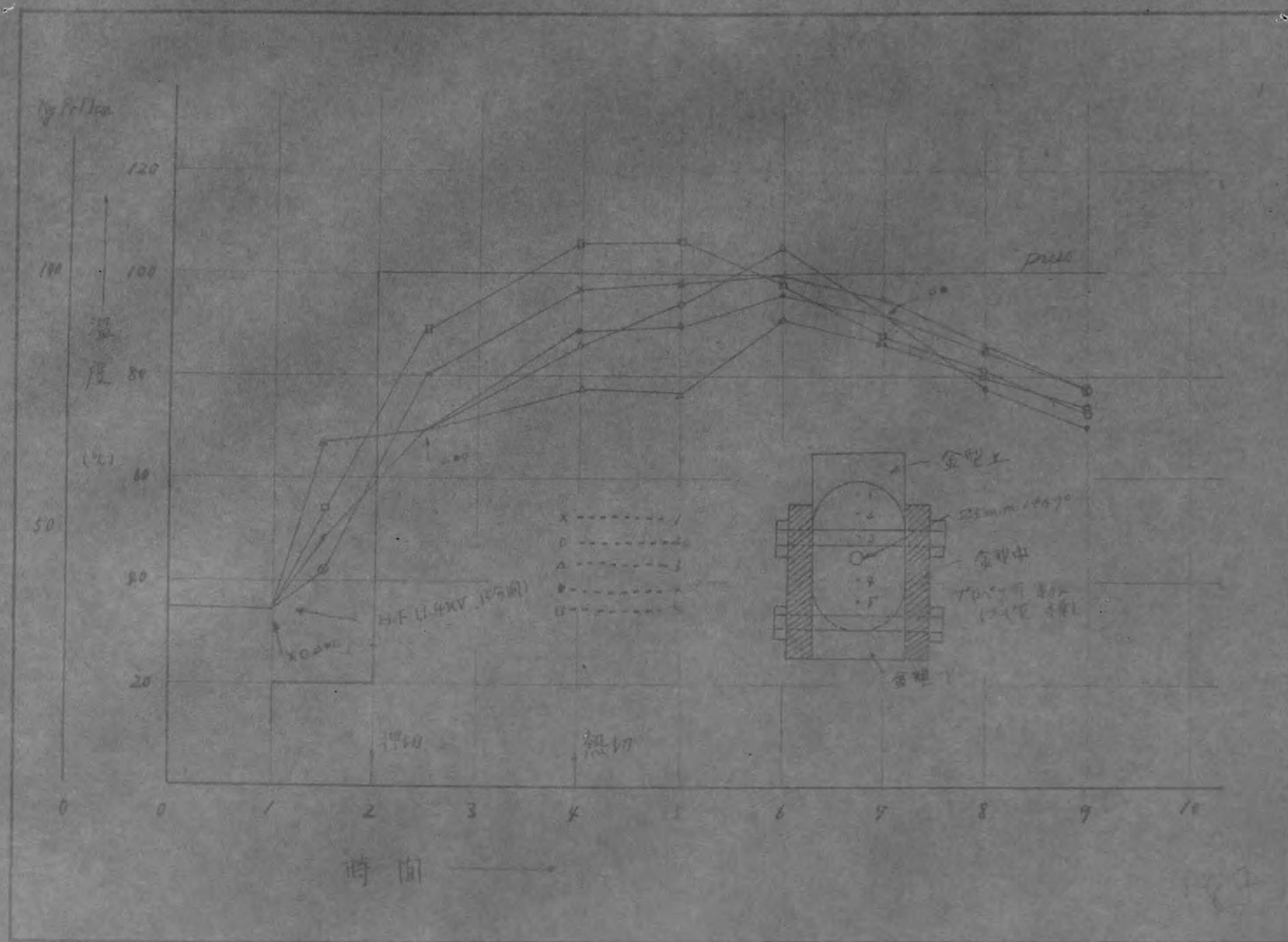


第 132 图



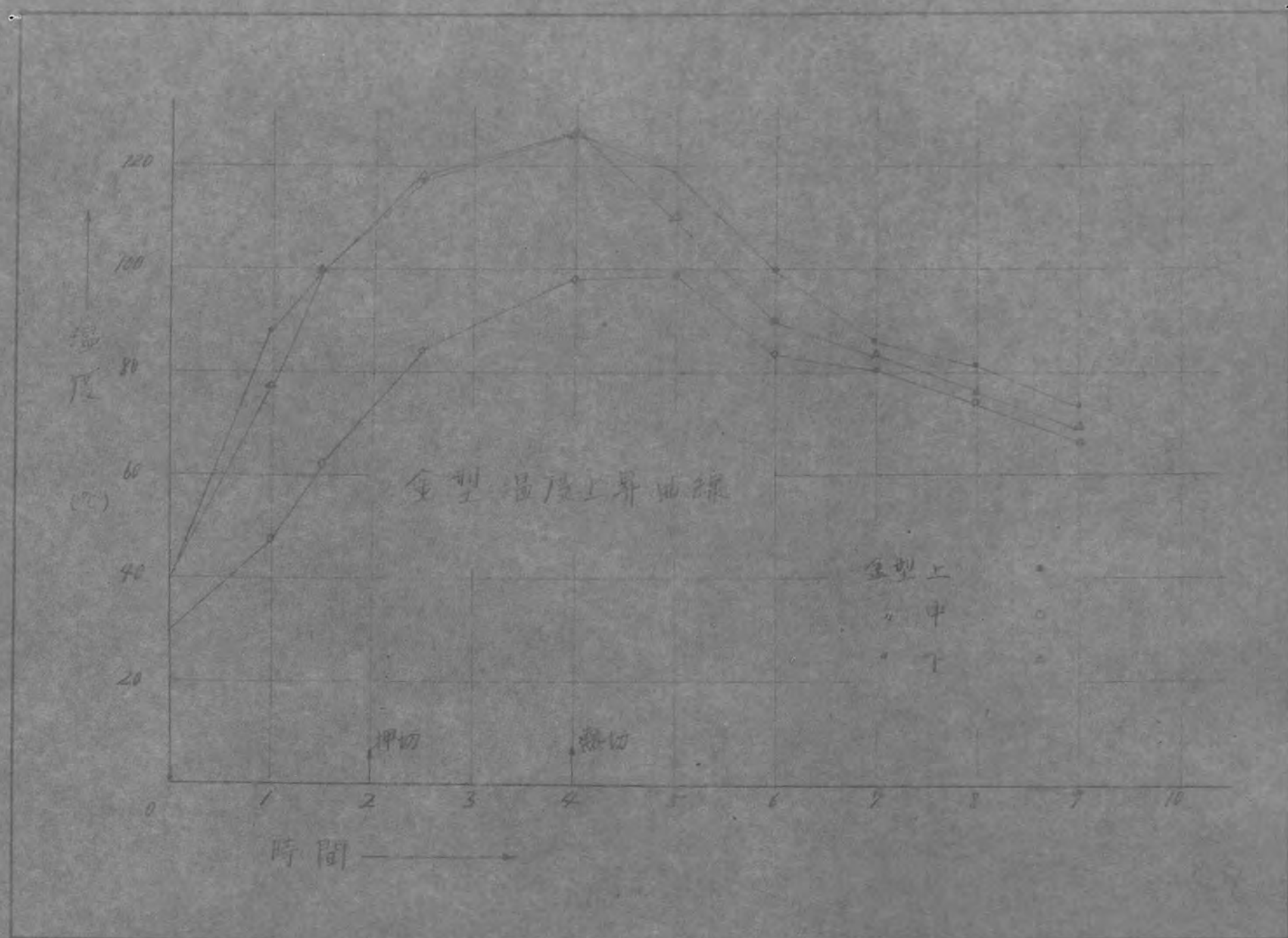
19. 8. 27

第 133 圖

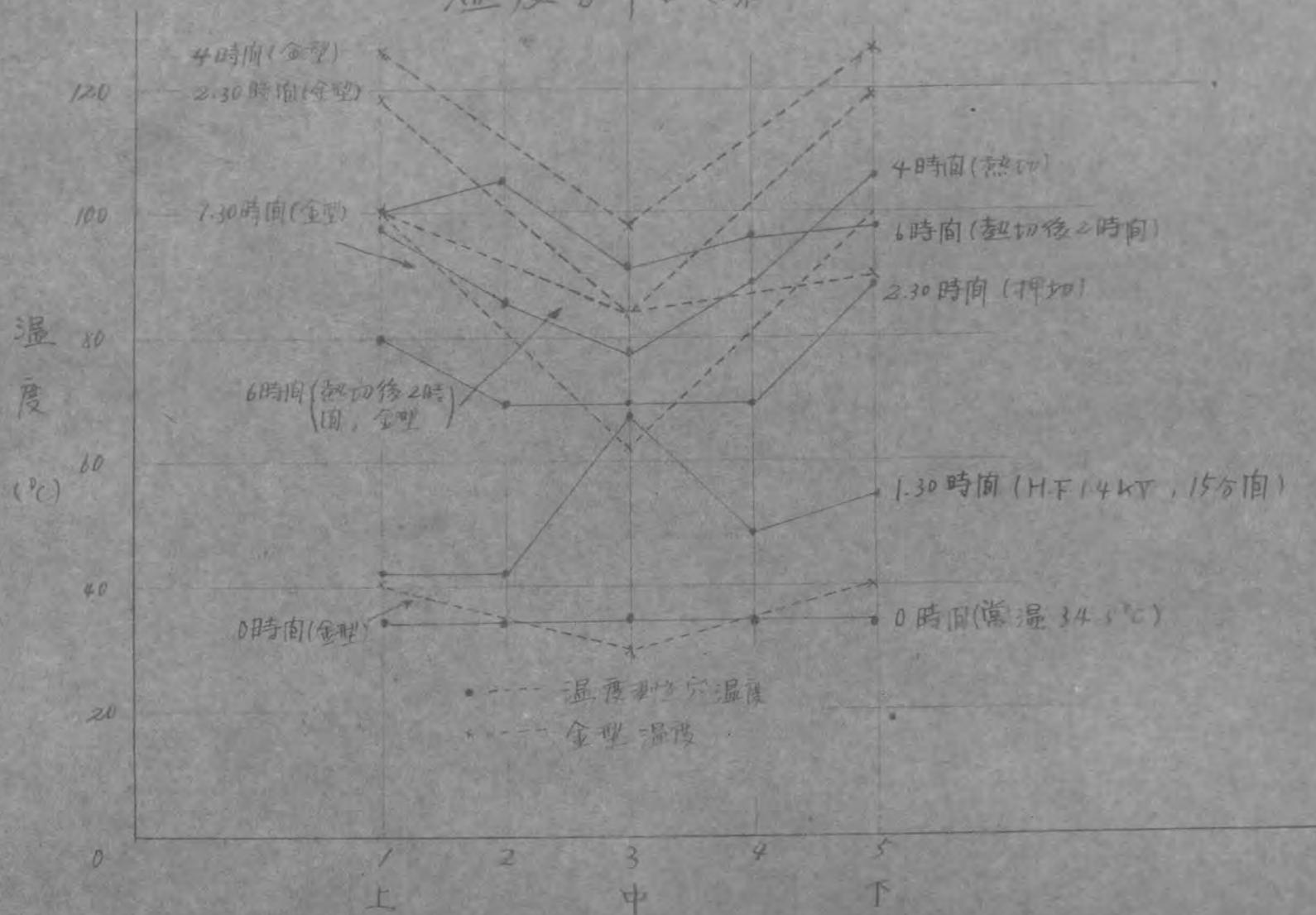


第 134 图



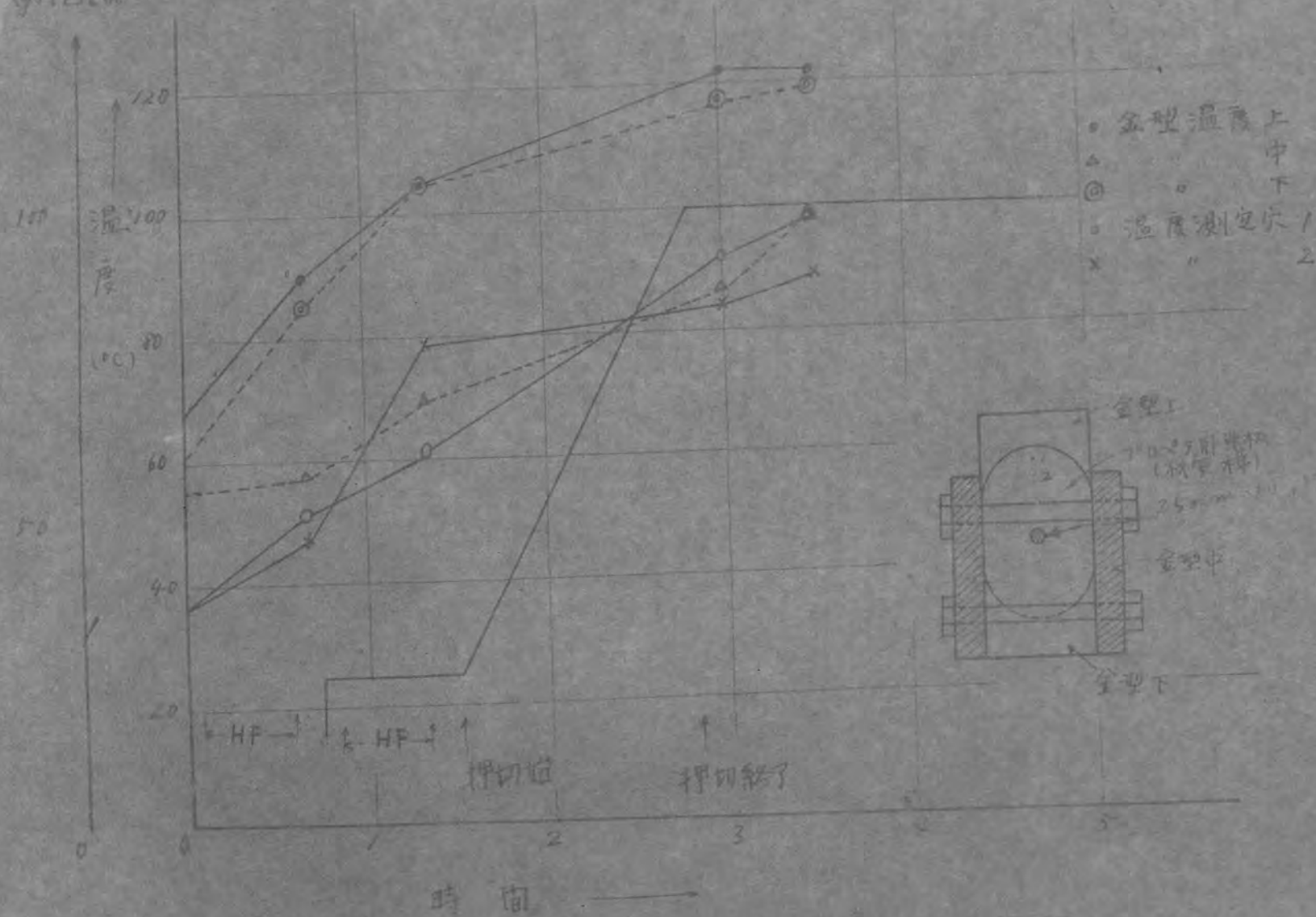


# 温度分布曲线



温度測定穴番号及 金型温度測定穴

9.4.1.1 cm



第 137 圖



# Section 0

7°D\ラ根部切断図

試験片取出見取図

(第8表参照)

